



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

CLÁUDIA ALEXANDRA RIBEIRO E SILVA

REABILITAÇÃO DE PONTES DE ALVENARIA DE PEDRA

Estudo Aplicado a Pontes do Concelho de Paredes de Coura

MESTRADO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Engenharia Civil e do Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor Patrício Rocha

Agosto de 2016

MEMBROS DO JÚRI

Presidente do Júri: Prof. Dr. Pedro Delgado

Arguente: Prof. Dra. Joana Almeida

Orientador: Prof. Dr. Patrício Rocha

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não seria possível sem a contribuição de algumas pessoas/instituições a quem gostaria de agradecer.

Ao Professor Doutor Patrício Rocha, não só pelo seu empenho na concretização desta dissertação, como por todo o apoio e conhecimento transmitido ao longo do curso. A sua orientação foi fundamental para a realização deste trabalho.

À Professora Doutora Joana Almeida, por toda a bibliografia disponibilizada no início desta dissertação e pelo apoio na definição das linhas gerais para a realização da fase inicial da dissertação.

À Eng.^a Esmeralda Paupério e Eng.^a Cristina Costa, do Instituto da Construção, pelos exemplos de estratégias de intervenção de reabilitação em pontes que facultaram e que me ajudou na definição das soluções de intervenção no caso prático.

Ao Doutor Aníbal Costa, pela disponibilização do guia aplicado nesta dissertação.

Ao Arquivo Municipal de Paredes de Coura pela disponibilização de todos os documentos existentes relativos às pontes em estudo.

Ao Arquiteto Jorge Lages pela bibliografia fornecida e pelo incentivo na realização deste trabalho.

Ao Paulo Caldas e à Marta Borges pelo empenho e apoio nas primeiras medições efetuadas nas pontes, assim como pela boa disposição e amizade sempre presentes.

Aos amigos que me apoiaram e incentivaram para completar esta etapa, em especial à Joana Lopes e ao Fábio.

À família pelo carinho, compreensão e apoio durante estes anos de estudo.

DEDICATÓRIA

À minha mãe.

A mulher mais bonita e corajosa que conheci.

RESUMO

As pontes em pedra fazem parte do nosso passado histórico e das nossas necessidades presentes. Assim sendo, é necessário conhecê-las, saber quais as suas principais anomalias, as técnicas de diagnóstico que podem ser utilizadas para a sua identificação, o seu comportamento mecânico e as melhores soluções de reparação.

Para a conservação destas obras de arte é necessário implementar estratégias de manutenção que possam acompanhar a evolução do estado da obra de arte, fazendo manutenções preventivas em detrimento de manutenções corretivas. Um ponto de partida para a definição de planos de manutenção é conhecer o estado de conservação de cada ponte, possível através da avaliação de cada elemento estrutural individualmente, com as suas anomalias, as causas das mesmas e os seus efeitos na estrutura, e a ponderação para definir o estado geral de conservação da obra de arte.

Com isto é possível aplicar técnicas de reabilitação e/ou reforço que sejam necessárias, sem gastos económicos despropositados e com a definição clara do que é realmente necessário em cada fase da vida da estrutura.

Para a realização deste trabalho foram avaliadas nove pontes de pedras localizadas no concelho de Paredes de Coura. Foi executada uma pesquisa histórica sobre as pontes, seguida de uma inspeção visual para determinação de anomalias e definidas as medidas de manutenção/ reforço que deveriam ser adotadas.

Palavras-chave: pontes de alvenaria de pedra; reabilitação; reforço; diagnóstico.

ABSTRACT

Masonry bridges are part of our history and of our present needs. It is important to know them, what are their principal anomalies, the diagnostic tests that should be used to the identification of those anomalies and also the mechanic behavior and the best solutions to repair/ reinforce them.

To the conservation of this works of art it is necessary to establish maintaining strategies that can follow the evolution of the state of each work of art, doing previous maintenances detriment of corrective maintenances.

To start the definition of maintenance plans it is important know the state of conservation of each bridge, available through the evaluation of each structural element one by one, the anomalies, their causes and those effects in the structure in order to define the general state of preservation.

With these actions it is possible to establish rehabilitation techniques or reinforcement needed, without spend unnecessary budgets and with the clear definition of it is really need in each period of the life of the structure.

To accomplish this work were evaluated nine masonry bridges located in Paredes de Coura. It was made a historical research, an evaluation of the existing damages and the maintenance/ reinforcement measures that should be take.

Key – Words: Masonry Bridges, maintenance, strength, diagnosis.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Considerações gerais	14
1.2 Objetivos	14
2 MÉTODOS DE INSPEÇÃO, PRINCIPAIS ANOMALIAS E CAUSAS ASSOCIADAS	16
2.1 Caracterização Histórica – Pontes Romanas, Medievais e Modernas	16
2.2 Principais causas de anomalias em pontes de pedra	19
2.3 Principais anomalias em pontes de pedra	23
2.4 Inventariação e Inspeção	27
2.4.1 Periodicidade das Inspeções	27
2.4.2 Tipos de Inspeções	29
2.5 Ações de Manutenção/Monitorização	32
A manutenção	32
A monitorização	33
3 PRINCIPAIS TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO E REFORÇO	34
3.1 Fundações	34
3.2 Superestrutura	38
3.3 Demolição e Reconstrução	45
4 CASOS DE ESTUDO	46
4.1 Descrição das pontes	46
4.2 Anomalias detetadas nas pontes	64
4.2.1 Anomalias detetadas nos tímpanos	64
4.2.2 Anomalias detetadas nos encontros	69
4.2.3 Anomalias detetadas nos arcos	74
4.2.4 Anomalias detetadas nos quebra-mares	82
4.2.5 Anomalias detetadas nos guarda-corpos	87
4.2.6 Anomalias detetadas nos pavimentos	89
4.2.7 Anomalias nos sistemas de drenagem	91
4.2.8 Anomalias generalizadas	92
4.2.9 Resumo das anomalias detetadas	97
4.3 Soluções de intervenção	100
4.3.1 Anomalias detetadas nos tímpanos	100
4.3.2 Anomalias detetadas nos encontros	101
4.3.3 Anomalias detetadas nos arcos	102
4.3.4 Anomalias detetadas nos quebra-mares	104

4.3.4 Anomalias detetadas nos guarda-corpos.....	104
4.3.5 Anomalias detetadas nos pavimentos.....	105
4.3.6 Anomalias detetadas nos sistemas de drenagem	106
4.3.7 Anomalias detetadas junto das fundações.....	107
4.3.8 Anomalias Generalizadas.....	108
4.4 Aplicação de guia prático na avaliação do estado de conservação de uma das pontes em estudo	109
4.4.1 Apresentação do método	109
4.4.2 Aplicação do guia à ponte da Peorada	111
4.4.3. Conclusões à aplicação do guia.....	113
5 CONCLUSÃO.....	116
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Viaduto Goltzsch na Alemanha	18
Figura 2: Recalçamento das fundações (Alves, A.)	35
Figura 3: Injeção para melhoramento dos solos (Pires, P.)	36
Figura 4: Injeção com barreiras de confinamento (Pires, P.)	37
Figura 5: Reforço com microestacas através da fundação existente (Pires, P.)	38
Figura 6: Reforço com microestacas com viga de encabeçamento (Pires, P.)	38
Figura 7: Injeção por gravidade (Costa, V.)	39
Figura 8: Tubos de drenagem (Costa, C.)	39
Figura 9: Acabamento incorrecto da junta (Alves, A.)	41
Figura 10: Acabamento correto da junta (Alves, A.)	41
Figura 11: Execução de pregagens na Ponte do Pessegueiro (Alves, A.)	42
Figura 12: Ponte nova de Formariz - Localização	46
Figura 13: Ponte nova de Formariz - Vista jusante	47
Figura 14: Ponte nova de Formariz - Vista superior das guardas de pedra com o agrafo metálico	47
Figura 15: Ponte da Peideira - Localização	48
Figura 16: Ponte da Peideira - Vista montante	49
Figura 17: Ponte da Peorada - Localização	50
Figura 18: Ponte da Peorada - Vista jusante	51
Figura 19: Ponte da Feteira - Localização	52
Figura 20: Ponte da Feteira - Alçado montante	53
Figura 21: Ponte da Feteira - Guarda-corpos	53
Figura 22: Vista do rio a montante da ponte	54
Figura 23: Ponte de S.Martinho de Coura -Localização da ponte	54
Figura 24: Ponte de S.Martinho de Coura - Alçado jusante proposto (arquivo)	55
Figura 25: Ponte de S. Martinho de Coura - Vista do alçado jusante existente	55
Figura 26: Juntas argamassadas e agraços metálicos	56
Figura 27: Ponte do Arrieiro - Localização	57
Figura 28: Vista sobre a ponte do Arrieiro	57
Figura 29: Ponte do Crasto - Localização	58
Figura 30: Ponte do Crasto - encontro cimentado na margem direita	59
Figura 31: Ponte do Crasto - vista de jusante da ponte	59
Figura 32: Ponte dos Caniços - localização	60
Figura 33: Ponte dos Caniços - vista do alçado jusante	61
Figura 34: Ponte de Mantelães - Localização	62
Figura 35: Foto antiga da Ponte de Mantelães (Arquivo)	63
Figura 36: Ponte de Mantelães- Vista dos modilhões e da dupla cornija	63

Figura 37: Ponte de Mantelões - vista do alçado montante.....	64
Figura 38: Ponte 1 -Fissuração do tímpano.....	65
Figura 39: Ponte 3 - Embarrigamento do tímpano (vista montante).....	65
Figura 40: Ponte 3 - Deslizamento do tímpano	66
Figura 41: Ponte 3 - Abertura de juntas nos tímpanos	67
Figura 42: Ponte 3 - Deslocamento das pedras do tímpano no arco central	68
Figura 43: Ponte 3 - Deslocamento das pedras do tímpano junto ao arco da margem esquerda	68
Figura 44 – Ponte 3 - Fendilhação de blocos dos tímpanos	68
Figura 45: Ponte 1 -Fendilhação de blocos dos encontros.....	69
Figura 46:Ponte 2 - Fendilhação de blocos dos encontros.....	69
Figura 47: Ponte 3 - Fendilhação de blocos dos encontros	69
Figura 48: Ponte 9 - Fendilhação de blocos dos encontros	69
Figura 49: Ponte 1 - Erosão na margem esquerda.....	70
Figura 50: Ponte 1 - Erosão na margem direita	70
Figura 51: Ponte 2 – Erosão junto das fundações.....	70
Figura 52: Ponte 5 – Erosão dos blocos	71
Figura 53: Ponte 9 – Fissuração nos encontros	72
Figura 54: Ponte 1 - Desagregação dos encontros	73
Figura 55: Ponte 2 - Desagregação dos encontros	73
Figura 56: Ponte 5 – Mau emparelhamento dos encontros.....	74
Figura 57: Ponte 1 - Fendilhação localizada.....	74
Figura 58: Ponte 3 - Fendilhação localizada.....	74
Figura 59 – Ponte 1 - Aduelas fraturadas	75
Figura 60 – Ponte 3 - Aduelas fraturadas	75
Figura 61: Ponte 1 - Fendilhação longitudinal do arco	76
Figura 62: Ponte 3 - Fendilhação longitudinal do arco	76
Figura 63: Ponte 3 - Separação no arco	76
Figura 64: Ponte 2 - Abertura das juntas no intradorso	77
Figura 65: Ponte 2 - Pormenor da abertura e humedecimento das juntas.....	77
Figura 66: Ponte 1 - Abertura de juntas no intradorso do arco.....	78
Figura 67: Ponte 3 - Abertura de juntas no intradorso do arco.....	78
Figura 68: Perda de material das aduelas – vista jusante	78
Figura 69: Perda de material das aduelas – vista montante.....	78
Figura 70: Ponte 1 - Intradorso do arco	79
Figura 71: Ponte 2 - Intradorso do arco	79
Figura 72: Ponte 3 - Intradorso do arco 3	80
Figura 73: Ponte 5 - Intradorso do arco	80
Figura 74: Ponte 6 - Intradorso	81
Figura 75: Ponte 7 - Intradorso do arco	81

Figura 76: Ponte 8 - Intradorso do arco	82
Figura 77: Ponte 3 - Inclinação do quebra-mar	83
Figura 78: Ponte 7 - Separação entre o quebra-mar e a estrutura.....	83
Figura 79: Ponte 3 - Ligação entre o quebra-mar e o tímpano.....	84
Figura 80: Ponte 3 - Fendilhação no quebra-mar	84
Figura 81: Afastamento entre blocos do quebra-mar	85
Figura 83: Afastamento entre blocos no quebra-mar	85
Figura 83: Tronco de árvore junto ao talha-mar	86
Figura 84: Raízes e musgo a desenvolverem-se entre as pedras do talha-mar.....	86
Figura 85: Ponte 3 - Fratura de guardas.....	87
Figura 86: Ponte 3 - Desalinhamento das guardas	87
Figura 87: Erosão no material pétreo das guardas.....	88
Figura 89: Erosão das pedras e desprendimento da argamassa	88
Figura 89: Ponte 2 - Desprendimento argamassa das guardas	88
Figura 90: Ponte 7 - Desprendimento da argamassa	88
Figura 91: Ponte 5 – Degradação das pedras dos guarda-corpos.....	89
Figura 92: Ponte 1 – Pavimento.....	89
Figura 93: Ponte 2 - Pavimento	89
Figura 94: Ponte 3 - Pavimento	90
Figura 95: Ponte 6 - Pavimento	90
Figura 96 – Ponte 3 – Aberturas no pavimento	90
Figura 97: Ponte 1 - Sistema de drenagem	92
Figura 98: Ponte 2 - Orifício no pavimento	92
Figura 99: Ponte 7 - Orifício no pavimento	92
Figura 100: Ponte 1 - Vegetação	93
Figura 101: Ponte 2 - Vegetação	93
Figura 102: Ponte 3 - Vegetação	93
Figura 103: Ponte 4 - Vegetação	93
Figura 104: Ponte 5 - Vegetação	93
Figura 105: Ponte 6 - Vegetação	93
Figura 106: Ponte 7 - Vegetação	93
Figura 107: Ponte 8 - Vegetação	93
Figura 108: Ponte 9 - Vegetação	94
Figura 109: Ponte 1 - Raízes	94
Figura 110: Ponte 2 – Raízes	94
Figura 111: Ponte 8 - Raízes	94
Figura 112: Ponte 7 – raízes no encontro.....	95
Figura 113: Ponte 8 – raízes no encontro.....	95
Figura 114: Raiz de arbusto a desenvolver-se junto ao quebra-mar.....	95
Figura 115: Ponte 1 - Erosão nos blocos.....	96

Figura 116: Ponte 2 - Erosão nos blocos.....	96
Figura 117: Ponte 3 - Erosão nos blocos.....	96
Figura 118: Ponte 5 - Erosão nos blocos.....	97
Figura 119: Ponte 7 - Erosão nos blocos.....	97
Figura 120: Ponte 8 - Erosão nos blocos.....	97
Figura 121: Ponte 9 - Erosão das pedras do encontro	97
Figura 122 – Remate com pedra na ponte de Negrelos (Alves, A.)	102
Figura 123 – Construção de viga de embasamento – Pontão de Arriacha (Alves, A.)	107

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Anomalias encontradas na inspeção	Erro! Marcador não definido.
Tabela 2: Anomalias encontradas em cada ponte.....	98
Tabela 3: Valores do Estado de Conservação dos elementos da ponte	113
Tabela 4: Fator de Ponderação do elemento	114
Tabela 5: Estado de Conservação da ponte.....	114

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

As pontes em pedra encontram-se por todo o país, sendo uma herança que deve ser preservada dadas as suas características e o que representam. As pontes foram sendo construídas ao longo dos tempos para permitir a passagem de pessoas e bens entre os diversos locais, utilizando-se para isso os materiais que se encontravam ao dispor, nomeadamente as pedras.

Foi na época romana que se construíram as pontes de pedra das quais ainda hoje se possui múltiplos exemplos. Algumas delas foram ainda alteradas na idade medieval, para continuar a permitir a comunicação entre os locais que estavam separados por obstáculos naturais enquanto outras mantiveram as suas características iniciais inalteradas.

Com o passar do tempo, e sem intervenções nestas obras de arte apesar de continuarem a ser utilizadas, estas estruturas vão degradando e não existem inspeções rotineiras para avaliar o seu estado de conservação. Como algumas das pontes antigas ficaram apenas em caminhos secundários, e por não apresentarem defeitos visíveis, muitas vezes desprezam-se as anomalias que possam ter.

1.2 Objetivos

O presente trabalho começou por se desenvolver devido à preocupação demonstrada por parte do presidente da junta de freguesia onde se encontra uma das pontes estudadas no âmbito desta dissertação. A sua preocupação surgiu pela análise do mau estado do pavimento e pela erosão verificada nos encontros, levando ao pedido dos habitantes para uma análise da ponte que garantisse a sua segurança.

Surgiu com isto a ideia de se avaliarem algumas das pontes mais importantes do concelho de Paredes de Coura, nove no total, avaliando as suas anomalias para depois se sugerirem algumas soluções de intervenção, caso fosse necessário.

Neste trabalho serão assim inicialmente abordadas as principais anomalias deste tipo de construção, assim como as suas principais causas e as soluções de intervenção recorrentes.

Na vertente mais prática deste trabalho serão abordadas as inspeções efetuadas a nove pontes existentes no concelho de Paredes de Coura, fazendo-se uma apresentação com registo fotográfico das principais anomalias encontradas, apresentando as suas possíveis causas e definindo estratégias de reabilitação/conservação.

O que se pretende com a avaliação destas pontes e a obtenção de uma conclusão relativa ao seu estado de conservação. Com a obtenção do estado de conservação é possível definir planos de manutenção adequados a cada estrutura, que contribuiria para a programação de intervenções de reabilitação/ consolidação das estruturas.

2 MÉTODOS DE INSPEÇÃO, PRINCIPAIS ANOMALIAS E CAUSAS ASSOCIADAS

2.1 Caracterização Histórica – Pontes Romanas, Medievais e Modernas

Antes de se iniciar a identificação das principais anomalias das pontes de alvenaria de pedra, importa referir que as pontes em pedra existentes foram construídas em duas fases fundamentais: período romano e período medieval. Não é fácil distinguir as pontes de alvenaria pela sua época de construção. Por vezes, pontes construídas durante a época romana foram posteriormente intervencionadas, levando a que perdessem os seus traços característicos. Apesar de por vezes se tentar caracterizar uma ponte como sendo romana por se encontrar numa via romana, também surgem dificuldades neste tipo de caracterizações porque estas vias perderam por vezes a sua identidade, por passagem de outros caminhos ou por obstrução dos mesmos ao longo do tempo, o que dificulta agora a sua identificação.

Pontes Romanas:

Com a chegada dos romanos à península ibérica desenvolveram-se as vias de comunicação que se limitavam, até aí, a pequenos trilhos. Com o desenvolvimento do sistema de estradas pelo império, tornou-se imprescindível a construção de pontes para atravessarem os rios.

Para a identificação atual das vias romanas, os marcos miliários são um contributo importante. Feitos de pedra e com forma cilíndrica, marcavam as distâncias do percurso romano e são ainda hoje um meio para identificar esses percursos, pois a sua existência indica que aí existiu uma via romana.

Partindo das vias em calçada de pedra, ainda hoje algumas existentes, passaram para a construção de pontes, incluídas nestas vias romanas. Na construção destas pontes mostravam uma preocupação com a simetria, sendo os arcos iguais entre si, e apresentando um tabuleiro horizontal, que podia ser em cavalete no caso de pontes mais pequenas (Costa, C.).

O fato de os arcos da mesma ponte terem entre si as mesmas dimensões, aponta para o uso de cimbres na sua construção (Martins, J.). Isto é apoiado pela existência de pequenas saliências, denominadas baldoeiros, onde se apoiavam os cimbres.

Os arcos são de volta perfeita e constituídos por aduelas largas, que podiam ser consolidadas com argamassa pozolânica. A argamassa pozolânica era também usada no enchimento de fundações (Rodrigues, N.). Esta argamassa era obtida através da mistura de cal com pozolana (cinza) que permitia obter uma mistura mais impermeável.

Outra característica das pontes romanas é o aspeto visual da pedra que apresenta em geral um aspeto almofadado ou rusticado. Além disto, as pedras apresentam por vezes pequenas cavidades que permitiam a entrada do fórfex e da tenaz para a sua elevação (Alves, A.).

Para construir os pilares, os romanos recorriam a ensecadeiras compostas por 2 anéis de estacas de madeira preenchidas entre si com argila compactada, a partir das quais dragavam o leito do rio até se atingir a profundidade desejada. (Martins, J.)

Os pilares possuem geralmente largura de $1/5$ a $1/3$ do vão. O fato da largura ser muito elevada provocava a redução acentuada da secção de escoamento, o que produzia um aumento da corrente e conseqüente infra-escavação. Para combater o efeito da corrente, era usual construir os talhamares (quebra-mares), a montante, e por vezes os talhantes, a jusante, menos frequentemente.

Outra característica que se pode observar nas pontes romanas é a presença dos denominados arcos de cheia, construídos na zona dos tímpanos. Estes arcos permitiam a passagem da água em épocas de cheia e diminuía o impulso gerado nos tímpanos das pontes.

Pontes Medievais:

Com a queda do império Romano no século V d.C, perdeu-se também a arte de construir pontes. É só no início da idade média que se volta a verificar o interesse pela reconstrução de estradas, pontes e outras edificações, para o que eram precisos artesãos e artistas. São então os monges que transmitem os ensinamentos e tentam conservar as magníficas obras romanas. (Rodrigues, N.).

Nesta época, as pontes eram construídas para favorecerem ligações que fossem importantes a nível económico e pelo mesmo motivo eram reconstruídas as pontes romanas, que se encontravam degradadas pelo tempo e pelas guerras.

Já não sendo fiéis à simetria dos romanos, as pontes medievais caracterizam-se por um arco central maior, em forma de ogiva, tornando-se mais pequenos à medida que se

aproximavam das margens. Os tabuleiros eram predominantemente em cavalete, devido à forma ogival do arco e, com o alargamento do arco, diminui o número de pilares e consequentemente o número de fundações no leito dos rios. A largura destas pontes é inferior às executadas no período romano pois, mesmos nas reconstruções feitas, não aproveitaram toda a largura das pontes existentes. Ainda pelo tamanho das aduelas se consegue distinguir as construções das duas épocas: na construção romana as aduelas são pequenas e com um aspeto almofadado; enquanto que na construção medieval estas aduelas são mais compridas e estreitas.

Com o fim da época romana perdeu-se o uso da pozolana. As pontes medievais foram construídas praticamente sem recurso a argamassas. Sem uma argamassa que consolidasse as estruturas, a par dos arcos mais longos, a estrutura funciona mal aos esforços transversos, passando os arcos a ser reforçados com pesados contrafortes, com forma triangular a montante e retangular a jusante para diminuir a ação da água. Pode por vezes encontrar-se nestas pontes vestígios de argamassa de cal, mas não era técnica corrente.

Pontes Modernas:

Com a Revolução Industrial (século XIX) começa a utilizar-se o ferro e o aço na construção de pontes. Já para o final do século XIX também se começa a utilizar o betão neste tipo de construções.

Apesar do desenvolvimento de novos materiais de construção, o uso de alvenaria não cessou, continuando a construir-se pontes com recurso a este material. Um exemplo desta construção moderna é o viaduto de Goltzsch, construindo em 1845 na Alemanha, com um desenvolvimento de 578 metros e uma altura de 78 metros.

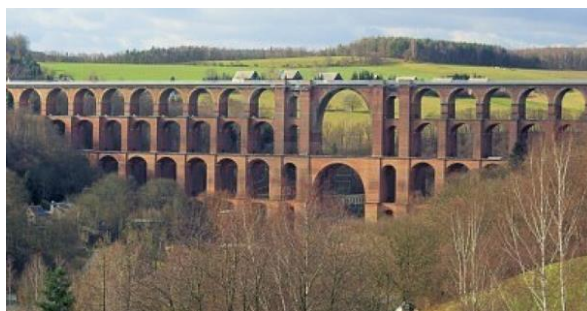


Figura 1 – Viaduto Goltzsch na Alemanha

Neste período, a construção de pontes em alvenaria torna-se mais ousado, conseguindo-se alcançar maiores vãos com menores flechas dos arcos, recorrendo-se a uma nova

argamassa, à base de cal hidráulica, que permitia executar arcos de volta perfeita com pilares mais esbeltos.

A construção em pedra e cal permitia duas variantes construtivas diferentes. Uma que utilizava pedra aparelhada na superfície, enquanto o interior era constituído por um cimento feito à base de argamassa de cal. Este processo era o mais frequente para os casos em que se desejava mais prestígio e maior resistência para a construção. A outra variante era que envolvia calhau rolado com tamanhos diversos, todo envolvido numa argamassa à custa da utilização de tapumes de madeira, que conferiam forma ao conjunto. (Alves, A.)

Pelo descrito anteriormente é possível avaliar a complexidade de datação de algumas destas pontes, principalmente se não existir nenhum registo uma vez que entre as pontes romanas e as medievais o que ocorreu, muitas vezes, foi o seu reaproveitamento, retirando-se algumas características iniciais e tornando assim difícil a sua datação.

2.2 Principais causas de anomalias em pontes de pedra

Na presença de pontes de pedra é possível observar dois principais tipos de anomalias:

- As de durabilidade; e
- As estruturais.

As primeiras são anomalias causadas por agentes químicos, físicos ou biológicos que não comprometem a segurança da estrutura. Já as anomalias estruturais são devidas a degradações de materiais, excesso de solicitações, deficientes processos construtivos ou outros problemas que possam afetar a estabilidade da construção.

Por vezes o mesmo agente pode causar diferentes tipos de anomalias. É o caso por exemplo da presença de água: pode por um lado causar uma anomalia de durabilidade, causando manchas de humidade por exemplo, e levando ao desenvolvimento de outro tipo de anomalias de durabilidade, como o desenvolvimento de vegetação. Pode ainda gerar anomalias estruturais por interação em certos elementos, como é por exemplo o caso do enchimento. Caso a água consiga entrar na ponte pelo pavimento (devido à degradação do revestimento ou a um mau sistema de escoamento), a presença da água poderá levar à lavagem dos finos e consequente degradação do enchimento. Nos casos mais avançados, esta situação poderá levar à instabilidade da ponte, já que os impulsos gerados no interior dos tímpanos podem aumentar e o enchimento em mau estado não permitirá a degradação correta das cargas, podendo causar deformações nos tímpanos (embarrigamento, deslizamento) ou no arco (abatimento, degradação de argamassa, fendilhação devido a excesso de cargas).

Efeitos da ação da água

Como referido, a ação da água poderá originar anomalias estruturais e de durabilidade. São várias as anomalias que se podem imputar à presença da água nas pontes de alvenaria. Desde as anomalias nas fundações à restante estrutura, podem-se desenvolver problemas como erosão, infiltrações, eflorescências e manchas de humidade, que afetam a durabilidade e, em certos casos, estabilidade da estrutura.

- Ação mecânica:

Por vezes ocorrem mudanças no escoamento dos rios, resultantes de aumento da velocidade de escoamento ou da mudança da direção do escoamento, ou mesmo, devido à ocorrência de períodos de cheias, o que pode levar à remoção de sedimentos junto às fundações. Isto causa instabilidade na estrutura, já que se dá a erosão das fundações, provocando assentamentos e fendilhação. Por vezes, estas anomalias só podem ser visíveis recorrendo a inspeções subaquáticas.

Ainda no que diz respeito à ação mecânica da água, deve-se considerar que quando ocorrem as cheias, locais onde não era previsível ter água ficam com infiltrações, promovendo a desagregação do material.

Por outro lado, no caso da água da chuva, a sua ação juntamente com o vento, prejudica a argamassa das juntas, levando ao seu desgaste e desprendimento. Além de ser prejudicial à própria argamassa, é-o igualmente à pedra, retirando à pedra o seu aspeto rugoso e passando a ser liso e com os bordos ligeiramente arredondados, devido à erosão, provocando igualmente vazios no interior, permitindo a entrada da água que pode levar ao favorecimento de ações de formação de gelo e de dissolução de sais, como se irá explicar posteriormente.

- Ação física (gelo/degelo):

A formação de gelo nas pedras provoca uma expansão de volume no local, que leva à sua desagregação, provocando maiores estragos quando se encontra saturada, ou seja, submetida a vários ciclos de gelo/degelo. Quanto mais porosa for a pedra, mais vulnerável se torna a esta ação.

- Ação química:

A dissolução de sais solúveis, como os sulfatos e os nitratos, originam acidificação da água onde se dissolvem. Estes sais podem encontrar-se no próprio material que constitui a ponte que, aquando da entrada da água pelos seus poros, vai originar eflorescências. Os mesmos sais podem estar presentes na água do rio, provocando uma ação severa nos materiais que constituem a ponte.

Estas cristalizações originam tensões que levam à desagregação do material quando ocorre a cristalização/dissolução dos sais, tal como nos ciclos de gelo/degelo.

Efeitos do Meio Ambiente

Na atmosfera estão presentes certos elementos químicos prejudiciais ao material pétreo, resultantes da poluição provocada pelos automóveis, indústrias... Estes agentes podem estar dissolvidos na própria chuva, provocando as chuvas ácidas que agredem os edifícios e obras de arte. Por outro lado, partículas como o dióxido de carbono tendem a dar origem ao ácido sulfúrico quando combinadas com certos reagentes que, se entrarem em contacto com as pedras nas quais esteja presente carbonato de cálcio, dá origem à formação de gesso nos poros da pedra, levando à sua desintegração mecânica.

Por outro lado, a exposição ao meio ambiente implica também uma exposição às variações de temperatura. Os diferentes materiais existentes possuem diferentes coeficientes de dilatação térmica, o que significa que reagem de forma diferente a uma mesma variação térmica. Assim sendo, as zonas expostas ao calor e as zonas protegidas, quer se encontrem protegidas por sombreamento ou no interior, vão reagir de forma diferente, podendo originar roturas na pedra, devido aos diferentes aumentos de volume dos materiais.

Além do já referido, a temperatura é um fator preponderante na ocorrência de processos de cristalização de sais e de gelo, e na sua posterior dissolução, tal como já foi descrito, que conduz à erosão das pedras.

Efeitos dos Seres Vivos

Relativamente à exposição das pontes ao meio ambiente, foi descrito apenas a contribuição da atmosfera e do clima como agentes motores de anomalias nestas obras de arte. Mas neste contexto, deve igualmente fazer-se uma abordagem à ação dos seres vivos nesta deterioração das estruturas, desde os microrganismos aos próprios seres humanos.

- Ação Biológica – Microrganismos:

A existência de água nos elementos de alvenaria promove o desenvolvimento de vegetação, algas, fungos e bactérias. Enquanto os fungos e bactérias provocam reações químicas prejudiciais à alvenaria, as raízes das plantas levam à sua desintegração, forçando a abertura de fendas. Considerando como exemplo as trepadeiras, estas promovem um aspeto visual interessante, mas são bastante prejudiciais à obra de arte, uma vez que impossibilitam a avaliação visual do estado da ponte, além de manterem a superfície sempre humedecida.

- Ação humana:

A ação humana como causa de anomalias nas pontes de alvenaria deve ser considerada com particular interesse pois pode causar danos estruturais muito severos. Desde os acidentes que ocorrem com os automóveis sobre as pontes, aos problemas causados pelo excesso de carga.

Além destas ações causadas pelos veículos, tem-se ainda de considerar os atos de vandalismo que, não afetando o desempenho da estrutura, produzem um aspeto degradado da estrutura.

No entanto, a intervenção humana apresenta a sua maior importância na exploração dos inertes dos leitos dos rios. Muitas vezes estas intervenções provocam mudanças no escoamento do rio, devido ao abaixamento do nível freático, podendo afetar as fundações de forma catastrófica, como aconteceu na ponte Hintze-Ribeiro em Entre-os-Rios, levando ao seu colapso.

Efeitos dos materiais utilizados

Por último, pode ainda referir-se que as anomalias podem estar relacionadas com problemas nos próprios materiais, como as pedras e a argamassa. Com o passar do tempo, estes elementos podem perder a sua verticalidade, descolar ou fissurar, não havendo mais causas a relacionar que não as do próprio material.

2.3 Principais anomalias em pontes de pedra

O resumo das principais causas de anomalias permite obter uma noção das principais condições existentes que determinam o desenvolvimento das anomalias de durabilidade e estruturais nas pontes de pedra. De seguida serão apresentadas as principais anomalias que se observam neste tipo de estruturas, fazendo-se referência às suas principais causas.

Anomalias de durabilidade

- Erosão/Desagregação da Pedra

A erosão superficial da pedra é um resultado da ação da chuva e do vento e das partículas que são transportadas pelo ar, causando uma textura lisa na pedra e uma perda de argamassa das juntas. Esta erosão pode favorecer outras anomalias, já que deixa certas aberturas nos elementos, permitindo por exemplo a infiltração de água.

Além da erosão da pedra, também a dissolução é um problema na alvenaria. Através da entrada de água nas pedras, estas vão ficando cada vez com mais espaços vazios, formando-se assim um ciclo de desgaste.

Devido ainda à ação dos ciclos de gelo/degelo, cristalização/dissolução de sais e dilatações diferenciais causadas por variações térmicas, pode ocorrer a desagregação da pedra, originando perda de resistência da estrutura, podendo originar assim anomalias de caráter estrutural, com a perda e destacamento de blocos.

- Perda de argamassa

As anomalias mais comuns na argamassa são a sua perda de coesão levando até ao seu desprendimento das pedras. Estas anomalias resultam das ações mecânicas da água, chuva e vento, bem como as outras ações às quais as pedras estão igualmente sujeitas, como vegetação, circulação de água e ação dos seres vivos. A qualidade da argamassa é importante para poder amenizar estes efeitos, devendo ser escolhida a argamassa adequada ao ambiente e ao suporte. Em operações de manutenção deve ainda recorrer-se a argamassas isentas de cimento. As argamassas cimentícias são muito fortes, não permitindo a expansão das juntas, e criando relações muito fortes entre os blocos, podendo levar à sua fendilhação/fratura.

- Eflorescências

As eflorescências formam-se devido à cristalização de sais, dissolvidos na água ou presentes no próprio material que depois se dissolve com a água, como já foi referido anteriormente. Isto pode levar à desagregação da rocha, devido às pressões de cristalização, hidratação e expansão térmica, mas nos casos mais comuns surgem apenas como manchas embranquecidas, não sendo muito severas para a estrutura.

- Vegetação e poluição biológica

Como já foi referido, a presença de algas, fungos, líquenes e musgo podem levar à desagregação da pedra, principalmente pelas raízes da vegetação e pelas reações químicas causadas pelos fungos. Nas condições certas de temperatura e humidade, este tipo de organismos desenvolve-se rapidamente, chegando a poder cobrir toda a obra de arte. Este tipo de anomalia surge principalmente devido à ausência de limpeza e manutenção da ponte. Podem ter efeitos na estabilidade da ponte, principalmente quando existem árvores cujas raízes se desenvolveram na própria ponte, pelos esforços que originam e pela degradação do material à sua volta.

- Manchas de escorrência de água

Nas zonas mais próximas do leito do rio, a alvenaria encontra-se mais enegrecida, devido à constante presença de água que ascende por capilaridade. No entanto, podem ainda ser observadas manchas de escorrência de água quando não existe drenagem suficiente, ou quando estes drenos lançam a água para zonas da estrutura não protegidas. Quanto maior for a desagregação sofrida, mais permite a passagem e infiltração de água no interior da estrutura.

Anomalias estruturais

As anomalias estruturais podem dever-se a inúmeros fatores, dependendo do elemento estrutural onde existe a anomalia e da relação com os elementos envolventes. Para que seja possível uma inspeção correta às pontes é necessário conhecer as possíveis causas das anomalias estruturais, assim como as suas consequências no elemento em causa e em toda a estrutura.

As principais causas das anomalias estruturais estão relacionadas com movimentos/assentamentos dos apoios, que podem gerar a abertura de fendas; o excesso

de carregamentos e vibrações, que geram maiores impulsos nas pontes, aos quais a estrutura não consegue responder e à degradação do enchimento, que impede a degradação correta das cargas, podendo ainda aumentar o impulso nos tímpanos no caso da presença de água. Existem ainda outras causas como o próprio processo construtivo ou intervenções executadas. No entanto as anomalias de caráter estrutural terão de ser avaliadas caso a caso, não se podendo generalizar.

De seguida faz-se um pequeno resumo das principais anomalias estruturais que se podem encontrar em cada elemento das pontes de alvenaria de pedra.

- Arco

O arco é um elemento de grande importância nas pontes. É ele que recebe as cargas verticais transmitidas pelo enchimento, que podem ser mais concentradas ou mais dispersas dependendo do material que constitui o enchimento. Se este material for muito rígido há uma maior pressão no arco, podendo levar à sua rotura.

No arco é possível desenvolverem-se anomalias como as fendas longitudinais, transversais e a deformação do arco. (Costa, C.)

A fendilhação longitudinal do arco pode concentrar-se junto à face, concentrada ou distribuída na zona central ou ainda na base do arco. Este tipo de anomalias pode dever-se ao excesso de carregamento ou vibrações na ponte ou à degradação do enchimento. As anomalias geram-se devido à falta de capacidade de carga do arco para resistir a estes impulsos superiores, ou mesmo à perda de rigidez das juntas devido à sua degradação.

No arco pode ainda gerar-se fendilhação transversal distribuída no intradorso, na zona das aduelas de fecho (topo) ou ainda fendilhação concentrada junto à base. Estas anomalias têm as mesmas causas que a anterior, gerando-se devido à falta de capacidade do arco e/ou devido ao mau funcionamento do enchimento, criando impulsos horizontais no arco, ao qual ele não consegue resistir sem se deformar.

O arco pode ainda sofrer deformações significativas devido a assentamentos dos apoios e dos encontros. Isto resulta no abatimento do arco e também dos tímpanos, podendo levar à abertura e escorregamento das juntas transversais do arco e também da alvenaria dos tímpanos sobre a zona afetada. (Costa, C.)

- Tímpano

Com os impulsos laterais impostos pelo enchimento, os tímpanos podem sofrer diversas anomalias, como escorregamento, embarrigamento, inclinação para fora do plano e abertura de junta entre o tímpano e o arco.

Estas anomalias devem-se ao aumento dos impulsos do enchimento e diminuição da resistência do elemento, devido, por exemplo, à presença de água e à degradação do próprio material.

A abertura de junta entre o arco e o tímpano gera-se na sequência da má ligação entre estes elementos estruturais, causada pelo excesso de carregamento nessa zona. Esse excesso de carregamento pode ser originado por uma reduzida camada de enchimento entre o arco e o pavimento, combinado, ou não, com uma pequena largura da ponte que não permite a degradação das cargas, causando esforços horizontais e transversais que o arco não consegue degradar.

- Quebra-mares

As anomalias nos quebra-mares são as que normalmente se observam noutros elementos estruturais. Usualmente essas anomalias não implicam um prejuízo direto para a estabilidade da estrutura. No entanto, a sua detioração ou ruína pode provocar alterações no escoamento do rio, podendo aumentar a erosão dos pilares.

Nos quebra-mares as anomalias mais comuns são: a sua separação dos tímpanos; a fendilhação vertical; a abertura de juntas; a perda de blocos, podendo levar à ruína.

A abertura de fendas verticais nos quebra-mares pode dever-se a assentamentos do terreno. No entanto a principal preocupação com este elemento deve ser a sua ligação com os tímpanos. Normalmente, não existe uma ligação entre este elemento e a ponte senão por uma junta argamassada. Com o tempo esta junta tende a degradar-se, principalmente na zona em contato com a água (erosão), podendo levar à sua ruína.

- Fundações:

Relativamente ao caso específico das fundações, existe um conjunto de anomalias que ocorrem mais comumente e as suas causas vão desde as características do próprio terreno e condições de fundação à intervenção humana.

O principal problema com as fundações é a dificuldade em analisar a patologia existente visto que só com inspeções subaquáticas é que é possível avaliar o seu estado real.

A erosão das fundações pode dever-se a vários fatores, relacionados com alterações no leito do rio, devido a períodos de inundação, ao próprio curso da água, mudanças no perfil longitudinal do rio ou exploração de inertes.

Para melhorar a capacidade dos solos em receber as cargas da estrutura, recorria-se ao uso de estacas de madeira. Estas têm o problema de apodrecerem quando sujeitas a ciclos sucessivos de molhagem/secagem. A ação de microrganismos pode afetar igualmente as estacas, levando à sua degradação e deixando de realizar a sua função de transmissão de cargas. Nas inspeções que se realizam às fundações é possível verificar-se outro tipo de anomalia, a abrasão e apodrecimento dos elementos em madeira.

Além dos problemas com as estacas de madeira podem ainda existir problemas relacionados com o terreno de fundação. Aquando da construção deste tipo de pontes de alvenaria de pedra, não existiam métodos para avaliar as características geotécnicas do local da execução da ponte, não podendo assim saber-se se o terreno era estável e propício à sua execução.

Quando se tratava de terrenos menos compacto recorria-se sobretudo ao uso de estacas de madeira, cujos problemas já se referiram. No entanto, com o passar do tempo, o próprio terreno pode sofrer alterações, devido a mudanças no nível freático ou mesmo a alterações no próprio material que constitui o terreno. Estas alterações podem levar a consolidações ou descompressões no terreno que afetam a estrutura, podendo causar assentamentos. É possível que esses não sejam uniformes, pois o terreno de fundação pode ser diferente ao longo da zona de construção.

2.4 Inventariação e Inspeção

2.4.1 Periodicidade das Inspeções

Ao longo da vida útil das Obras de Arte devem ser realizadas inspeções com periodicidades definidas, por técnicos competentes, que partam de uma inspeção visual a uma inspeção mais detalhada com recurso a outros métodos, quando necessário.

Antes da ida ao terreno, as inspeções devem ser corretamente planeadas, com base em dados de projeto ou inspeções anteriores. *In situ*, as inspeções devem ser realizadas de forma sistematizada, para abranger toda a estrutura, dando atenção principal às zonas que já tenham sido referenciadas em inspeções anteriores como zonas críticas.

Podem ser definidos cinco tipos de inspeção (Cruz, P.): inspeções de rotina, inspeções principais, inspeções especiais, inspeções extraordinárias e inspeções subaquáticas.

As inspeções de rotina têm como objetivo avaliar a qualidade dos trabalhos de manutenção aplicados e o estado da obra de arte, permitindo definir trabalhos complementares. Não é necessário que seja realizada por técnicos especializados, já que se trata apenas um acompanhamento da evolução do edificado, e uma vez que não é necessário o uso de material mais específicos, recorrendo-se apenas a uma inspeção visual. Se durante esta inspeção forem detetadas anomalias que comprometam o desempenho da estrutura não referidas na última inspeção principal, estas devem ser registadas e comunicadas ao inspetor responsável.

Por sua vez as inspeções principais são mais pormenorizadas que as de rotina, tendo de ser realizadas por técnicos especializados que avaliam as anomalias, considerando as suas causas e definindo a intervenção a realizar. Além de ser realizada uma inspeção visual, pode ainda complementar-se com ensaios não destrutivos.

Já as inspeções extraordinárias só ocorrem para avaliar os danos possivelmente causados à estrutura resultantes de qualquer causa accidental (por exemplo um sismo), permitindo determinar a necessidade de implementação de intervenções de emergência.

Por fim, as inspeções especiais são propostas no seguimento de uma inspeção principal e, mais raramente, de uma inspeção de rotina, quando é verificada uma anomalia cuja causa, extensão ou gravidade se desconhece, ou se conhece com algum grau de incerteza, mas cuja avaliação se considera fundamental para garantir a segurança e/ou durabilidade da estrutura. Poderá ser necessário conhecer o grau de deterioração dos materiais, identificar a sua causa, avaliar o impacto que a anomalia tem, em termos de resistência e de desempenho de determinados componentes ou prever a sua evolução. Dados os elevados custos envolvidos neste tipo de inspeção, é indispensável uma escolha racional do(s) teste(s) a realizar e equipamentos a utilizar. Em cada caso, os ensaios e equipamentos escolhidos devem ser os mais indicados, por forma a que a inspeção especial seja conclusiva, em relação ao que se pretende analisar. (Cruz, P.)

Caso não seja possível avaliar as fundações devidamente e no caso de ser esse o objeto de estudo, deverão realizar-se inspeções subaquáticas, recorrendo a mergulhadores. Estas têm de ser devidamente planeadas por técnicos competentes nos ramos de análise estrutural, hidráulica, geotecnia e geologia.

Embora não exista consenso científico estabelecido, todas as inspeções devem ter periodicidades definidas. Existem várias propostas que variam consoante o autor estudado, por exemplo (Cruz, P.):

- Inspeção de Rotina: de doze a quinze meses;
- Inspeção Principal: quinquenalmente;
- Inspeção subaquática: quinquenalmente.

De realçar que estes períodos definidos servem apenas como base, não devendo em todo o caso ser ultrapassados, mas podendo ser inferiores se assim for necessário, tendo em consideração a estrutura em questão.

2.4.2 Tipos de Inspeções

Inspeção visual

A inspeção visual é a primeira análise a ser realizada a uma qualquer obra de arte, que permite obter uma perceção geral do seu estado. A partir desta inspeção é possível definir um sistema específico para cada estrutura, recomendando a realização de testes ou ensaios específicos.

Para a realização de uma correta inspeção visual é imprescindível uma boa organização preliminar, selecionando o material a levar para a inspeção e fichas de inspeção adequadas. Relativamente ao material, deve estar incluído equipamento de medição (fita métrica, régua, termómetro) e de registo (lápiz, papel, fichas de inspeção, equipamento fotográfico). Além disso é essencial fazer-se acompanhar de equipamentos que auxiliem o visionamento da estrutura, como binóculos e lanterna, quando necessário.

Ensaios não-destrutivos

Os ensaios não destrutivos são os que podem ser realizados sem necessidade de degradação da estrutura. Deve-se sempre que possível recorrer a estes em detrimento dos ensaios destrutivos.

Impacto-eco:

Este ensaio consiste num impacto mecânico na superfície da estrutura que produz uma perturbação elástica que se propaga através dos elementos sob a forma de ondas Rayleigh (R), compressão (C) e de corte (S). A propagação dessas ondas é analisada e processada a informação, podendo assim obter-se os resultados que se pretende, desde determinação de espessura do elemento, localização de vazios e áreas deterioradas, até à quantificação de fissuras e fendas. (Alves, A.)

Termografia:

Para a realização deste ensaio, parte-se do princípio que os materiais emitem diferente radiação térmica na zona dos infravermelhos, e assim pode-se observar os pormenores da construção dos elementos. Para que haja esta emissão de radiação dos materiais inicia-se o ensaio com o aquecimento dos elementos, com projetores de luz ou utilizando a própria radiação solar. De seguida é feito o tratamento dos dados no computador, com a definição da gama de temperatura mas estreita para resultados mais objetivos.

Este ensaio permite uma análise qualitativa da localização de vazios ou outras irregularidades, bem como a identificação dos componentes das estruturas. Deteta, igualmente, a existência de zonas de humidade, mas com a limitação de ser apenas a poucos centímetros da superfície. Para a sua realização é ainda necessário um especialista para a análise dos dados.

Ensaio sónicos:

Os métodos sónicos consistem em ultrassons transmitidos através da estrutura numa velocidade proporcional às propriedades da alvenaria. Tal como a termografia, é necessário especialistas para a interpretação dos resultados, e permite a determinação da espessura dos elementos, localização de vazios e caracterização de fendas e fissuras, considerando a velocidade de propagação das ondas.

Radar:

Com recurso à tecnologia do radar, são transmitidos impulsos electromagnéticos ao material e gravados num recetor, sendo então possível detetar-se linhas de separação entre materiais diferentes, fendas e vazios, padrões de distribuição de humidade e ainda a espessura do elemento. Apesar de ser um teste relativamente rápido, é necessária a sua execução por parte de um especialista.

Ensaio de Karsten:

Usando um tubo de Karsten, pressiona-se a superfície do bordo do tubo, na qual se colocou mástique, contra a superfície. Após o endurecimento do mástique, o tubo é cheio de água até ao seu nível máximo. O abaixamento do nível de água é medido aos 5, 10 e 15 minutos. (Alves, A.). Com esta medição é possível avaliar a porosidade superficial da alvenaria.

Ensaio de Carga:

Podem-se referir dois tipos de ensaios: estáticos e dinâmicos. Os primeiros têm como objetivo demonstrar que durante a vida útil da estrutura, esta vai garantir as condições de serviço, podendo-se obter valores de tensões, deformações e deslocamentos.

Relativamente aos ensaios dinâmicos, estes permitem determinar características da estrutura, tais como o coeficiente de amortecimento, a sua resposta a uma solicitação externa e detetar anomalias que comprometam o seu funcionamento.

Ensaio destrutivos

Para a realização deste tipo de ensaios é necessário proceder a cortes e sondagens na estrutura, sendo mais intrusivos que os ensaios não destrutivos.

Macacos planos:

O objetivo deste ensaio passa pela avaliação do estado de tensão da estrutura e módulo de elasticidade bem como a avaliação do comportamento da estrutura.

Fazendo um corte no elemento estrutural, como uma parede de alvenaria, é libertada uma tensão que pode ser quantificada medindo a convergência entre dois pontos dispostos simetricamente em relação ao corte. Depois de realizado o entalhe, coloca-se o macaco plano, aumentando-se a pressão até que os medidores de distância retomem a posição inicial, o que corresponde ao esforço de compressão do elemento.

Caso se pretenda conhecer a elasticidade do elemento, procede-se de forma semelhante, mas com recurso a um par de macacos planos, em dois entalhes paralelos, colocando-se medidores de distâncias entre pares de pontos fixos localizados entre os macacos. Aplicando-se pressões crescentes e medindo as distâncias entre os pontos, consegue-se obter o conhecimento das tensões e extensões.

Arrancamento de uma hélice:

Este ensaio permite determinar a resistência da argamassa de refechamento de juntas ou de assentamento.

Processa-se executando furos de 4,5 mm na argamassa, colocando lá a hélice de fixação e montando o dispositivo de arrancamento que a traciona. É registada a força de tracção necessária para este arrancamento, obtendo-se assim a resistência ao corte da argamassa.

Extração de carotes:

Com a extração de carotes procede-se à execução de ensaios laboratórios de caracterização mecânica das alvenarias (rotura à compressão, módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson), podendo ainda ser desenvolvidos ensaios químicos que permitam determinar os constituintes do material e elementos que possam prejudicar o conjunto. Por seu lado, podem igualmente ser realizados ensaios físicos que permitam definir parâmetros como a densidade do material.

Ensaio com endoscópio:

O ensaio com endoscópio baseia-se na introdução em orifícios da estrutura, previamente executados, de cabos com câmaras de vídeo ou fibra ótica. Permite a identificação de materiais, a deteção de cavidades e defeitos e/ou a calibração de resultados obtidos por outros testes.

2.5 Ações de Manutenção/Monitorização

Após a avaliação dos tipos de danos a que as estruturas de alvenaria estão sujeitas com maior frequência, é importante considerar o papel que a manutenção e a monitorização têm na vida das estruturas. Estas duas áreas estão estritamente relacionadas, dependendo a manutenção da monitorização que é efetuada, para se obterem os resultados mais adequados e que permitam uma correta intervenção.

A manutenção

A manutenção deve surgir como a base para o desenvolvimento de ações que permitam prolongar a vida útil da estrutura, reduzindo o desenvolvimento de anomalias severas que possam comprometer a segurança da estrutura. Uma vez que uma substituição alargada de componentes das pontes é economicamente inviável, além de comprometer o seu valor patrimonial, a estratégia adequada recai sobre uma correta manutenção, devidamente programada e com estratégias de intervenção adequadas, devendo prevalecer sobre qualquer outro tipo de intervenção.

Podem definir-se três tipos de manutenção: manutenção corrente, preventiva e especializada. (Rodrigues, N.; Morais, M.)

Como manutenção corrente entende-se aquela mais regular, correspondendo a ações de limpeza e reparações pontuais na estrutura, como a substituição de blocos de pedra ou a reparação das juntas. É uma ação que decorre em resultado das inspeções de rotina.

A manutenção preventiva ocorre no sentido de evitar o aparecimento de anomalias em elementos onde não se consegue avaliar eficazmente o estado de conservação, como por exemplo as fundações. Podem-se definir aqui algumas tarefas como o tratamento da alvenaria, para travar anomalias relacionadas com a erosão, a regularização do curso de água, de forma a não danificar as fundações e a própria estrutura com o seu escoamento, adotando ainda medidas de proteção das mesmas. Insere-se nesta manutenção a impermeabilização do tabuleiro das pontes e a implementação de medidas que restrinjam a velocidade e a carga máxima dos veículos, se necessário.

Por último considera-se a manutenção especializada, que decorre posteriormente a uma inspeção principal ou especial, se for necessário. Este tipo de manutenção relaciona-se com pequenas reparações/conservações que podem ser necessárias, como a reposição do pavimento, a reabilitação do sistema de drenagem e a reparação de anomalias nas fundações, como resultado de inspeções subaquáticas.

A monitorização

A monitorização das estruturas tem como objetivo estudar o seu comportamento de uma forma sistemática ao longo do tempo, de forma a detetar atempadamente qualquer anomalia, avaliando a sua integridade estrutural e evitando situações que a possam comprometer.

A monitorização de pontes de alvenaria de pedra deve ser realizada através de sensores e com recurso a unidades de processamento e transmissão de informação, existindo já vários tipos de sistemas de monitorização que podem ser usados.

Além de estar relacionado com os danos estruturais que a obra de arte pode sofrer, a monitorização pode também dar informações caso ocorram acidentes viários, atos de vandalismo ou apenas dar a conhecer os tipos de veículos que circulam na ponte, caso se pretenda obter dados estatísticos.

A monitorização das estruturas é mais comum nos países da União Europeia do que nos Estados Unidos da América, onde este tipo de sistema é usado quase exclusivamente para fins académicos.

3 PRINCIPAIS TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO E REFORÇO

Observando-se cada tipo de ponte individualmente e os danos que nelas possam existir, podem definir-se as melhores intervenções para cada situação, tentando intervir da forma menos intrusiva possível, e tendo em consideração o respetivo valor patrimonial da Obra de Arte.

As reparações devem ser realizadas, sempre que possível, programando atempadamente a sua intervenção, definindo o objetivo de cada uma e conhecendo igualmente a vida útil estimada de cada construção. Deve igualmente fazer-se uma avaliação de segurança da estrutura existente para definir de forma mais eficiente o tipo de abordagem a realizar.

Antes de cada intervenção deve-se elaborar um guia com os seguintes pontos a serem considerados (Orban, Z.):

- Descrição da técnica de reparação
- Conceção da reparação: testes iniciais necessários, âmbito da aplicação, vantagens e desvantagens
- Materiais a utilizar
- Controlo de reparação
- Recomendações

Este guia só pode ser elaborado depois de se ter decidido qual a técnica de reparação a utilizar e aplica-se tanto em ações de beneficiação como de reparações mais profundas.

Descrevem-se de seguida algumas técnicas de reabilitação/reforço em pontes de alvenaria.

3.1 Fundações

Ao nível das fundações existem técnicas de reforço das fundações e técnicas de melhoramento dos solos. As melhorias ao nível das fundações devem ser executadas quando ocorrem assentamentos devido à falta de capacidade de carga dos terrenos de fundação. Não devem ser realizadas intervenções sem se realizar um estudo geotécnico, pois a falta de conhecimento do tipo de solo pode levar a gastos desnecessários.

Relativamente às técnicas de reforço das fundações refere-se o recalçamento das fundações e enrocamentos, o preenchimento de zonas infra escavadas, injeção de caldas, o reforço com vigas de betão e o reforço com betão projetado ligeiramente armado.

O recurso ao recalçamento das fundações é usado quando o solo de fundação não tem condições para suportar as cargas que lhe são transmitidas, e consiste na escavação do terreno onde assenta a fundação, colocando-se no seu lugar um solo com melhores características, sendo a sua execução feita faseadamente, como se pode observar na figura 2. (Alves, A.)

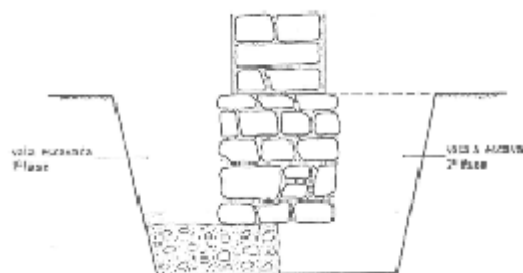


Figura 2: Recalçamento das fundações (Alves, A.)

Pode também optar-se por colocar betão, simples ou armado, criando uma base estável e podendo ligar todos os pilares entre si com uma viga de fundação. Esta técnica tem como inconveniente a escavação junto das fundações, levando à descompressão da estrutura durante o período da intervenção. (Alves, A.; Pires, P.). O recalçamento pode ainda ser executado a nível profundo, com recurso a estacas, podendo estas ser de madeira, betão ou metálicas, tendo estas últimas maior capacidade de carga e serem de mais fácil cravação, em praticamente todos os tipos de solos. (Pires, P.)

Ainda considerando o reforço das fundações pode-se recorrer a outra técnica de reforço das fundações, tratando-se esta do preenchimento das zonas infra escavadas. Esta pode ser feita recorrendo ao embasamento das fundações, com uma parede de betão e colocando-se posteriormente um enrocamento para proteger as fundações da ação da corrente. (Alves, A.)

Os trabalhos relativamente a esta técnica começam com a remoção da vegetação que possa existir junto das fundações e posterior dragagem do leito do rio junto às mesmas. É depois feita a parede em betão em torno do pilar, protegendo a sua fundação, colocando-se de seguida um geotêxtil e por fim fazendo-se o enrocamento.

Ainda ao nível do reforço das fundações, pode recorrer-se à técnica da injeção das mesmas (Costa, C.; Alves, A.; Morais, M.). Esta técnica consiste na injeção de caldas, com material apropriado, como caldas de cimento de baixa retração (Costa, C.), nos espaços vazios da alvenaria, sendo necessário para tal que haja o confinamento da estrutura, para que o cimento não possa sair pelas juntas. Com este método garante-se uma maior estabilidade das fundações, já que o seu interior deixa de ter vazios por onde possa passar a água, tornando-se mais consolidada e com maior capacidade de degradação das cargas.

Outra forma de reforçar as fundações é conseguida através da construção de vigas de embasamento. Utiliza-se este tipo de reforço quando a ponte se apresenta debilmente

fundada; as suas sapatas não atingem grande profundidade ou encontram-se erodidas e já não respondem às solicitações impostas como seria de esperar. Como resultado, a ponte pode apresentar movimentos de rotação nos apoios. A execução de vigas de betão permite rigidificar os apoios e a estrutura fica impedida de rodar. (Alves, A.)

A par desta técnica é ainda possível o reforço das fundações com o aumento da sua secção, através de encamisamentos (Costa, C.; Rodrigues, N.; Costa, V.; Morais, M.). Esta serve para proteger as fundações, aumentando a sua secção, através da criação de núcleo reforçado que protege a fundação e ajuda na distribuição dos esforços. Nesta técnica, após os rebocos terem sido convenientemente picados e limpos, coloca-se uma malha metálica calculada, dimensionada para resistir aos esforços que atuam no elemento estrutural e tendo em consideração um eventual aumento de cargas. A malha deve ser pregada para o interior resistente à corrosão. Posteriormente, é projetado sobre ela betão, por via seca ou húmida, até as armaduras estarem cobertas com a espessura necessária. (Alves, A.)

Passando-se agora à descrição das técnicas de melhoramento dos solos, consideram-se as injeções e o reforço dos solos com estacas/microestacas.

A par do que foi referido para o reforço das fundações com as injeções, estas também podem ser usadas para o melhoramento dos solos, caso estes sejam permeáveis. Esta técnica consiste em injetar caldas no terreno, em perfurações previamente executadas, diminuindo o seu índice de vazios, e tornando-o mais compacto e resistente (Alves, A.). Permite ainda diminuir a permeabilidade do solo. Dependendo do tipo de solo e das necessidades estruturais, assim varia o tipo de calda. Após ser injetada, a calda vai solidificar por processo natural no caso das caldas de cimento ou por transformações químicas, nas caldas à base de produtos químicos. (Pires, P.) Observa-se na imagem seguinte (figura 3) o princípio fundamental da injeção de caldas.

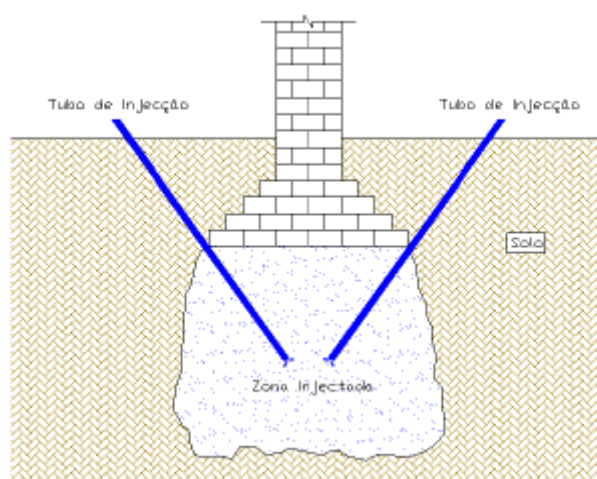


Figura 3: Injeção para melhoramento dos solos (Pires, P.)

Um dos problemas com as injeções é a possível perda das caldas para zonas onde não é necessária a sua presença, principalmente nos solos heterogéneos, deixando locais onde é

importante que o solo fique preenchido por saturar. Para impedir que isto aconteça podem colocar-se barreiras limitadoras para o confinamento das terras, mas não é muito usado. Observa-se o mecanismo destas barreiras na figura seguinte (figura 4).

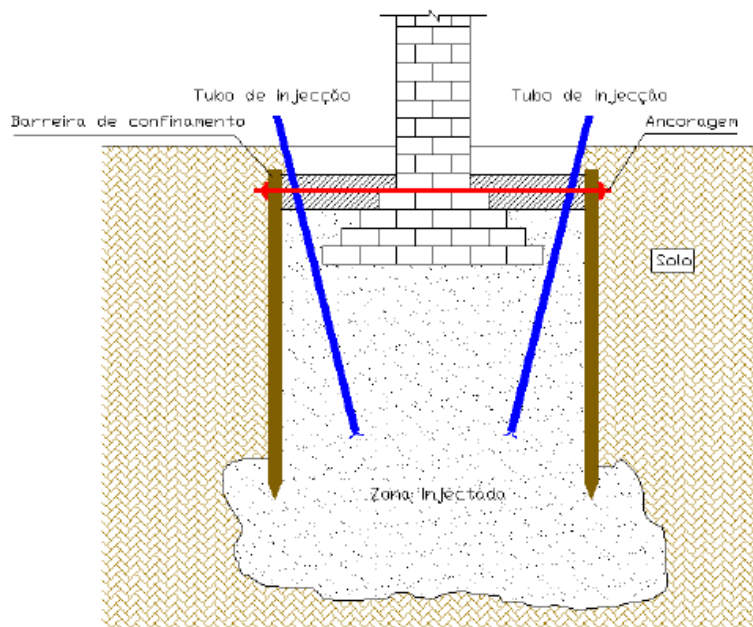


Figura 4: Injeção com barreiras de confinamento (Pires, P.)

Uma técnica muito semelhante às injeções é o *jet-grouting*. Este consiste na injeção de caldas a altas pressões, sem ser necessário perfurar o solo antes. Assim, o processo inicia-se com a inserção de uma vara no terreno, auxiliado por um jacto de água vertical. (Pires, P.). Posteriormente, a injeção da calda é executada através de jatos horizontais de ar e água que provocam a desagregação dos solos. A água transporta através da vara os solos que se desagregaram, preenchendo-se o solo com as caldas inseridas. (Pires, P.; Ribeiro, A.). A injeção deve ser controlada, pois os solos podem ficar instáveis, sendo por vezes necessário o seu escoramento temporário.

Relativamente ao recurso às estacas/microestacas, esta técnica, usada no reforço das fundações e no melhoramento dos solos, pode ser feita perfurando diretamente através das fundações, ou podem ter vigas de encabeçamento que faz a sua ligação à estrutura. O objetivo é sempre transmitir as cargas para terrenos com mais capacidade, seja diretamente através das fundações quer através das vigas de encabeçamento. Quando se faz a injeção das caldas a altas pressões, obtém-se ainda a consolidação do terreno de fundação. (Pires, P.) Para isso faz-se a furação no solo que pode ser realizada com material diferente dependendo, por exemplo, do tipo de solo. Posteriormente coloca-se a armadura, que pode ser perfilada, tubular ou vários varões cintados. Seguidamente é feita a selagem, com calda de cimento. Apesar da resistência desejada ser feita pela armadura, a calda de cimento cumpre a função de transmissão das cargas para o terreno. (Antunes, T.)

Esta técnica tem como desvantagem o manuseamento dos materiais e equipamentos junto das fundações, área de difíceis acessos. Pode-se observar na figura 5 uma imagem do reforço das fundações com uso de estacas, diretamente através das fundações ou com recurso a uma viga de encabeçamento (figura 6).

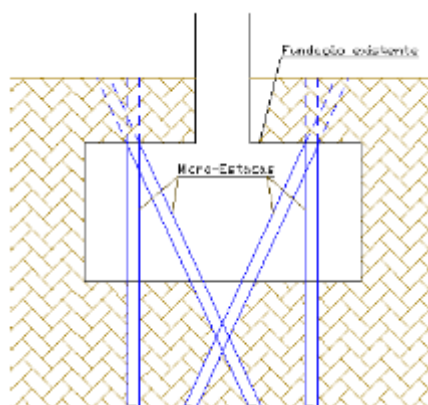


Figura 5: Reforço com microestacas através da fundação existente (Pires, P.)

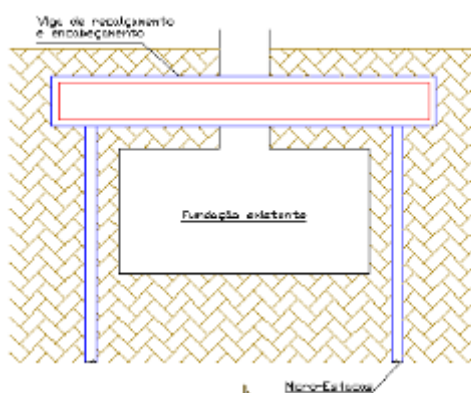


Figura 6: Reforço com microestacas com viga de encabeçamento (Pires, P.)

3.2 Superestrutura

Ao nível da superestrutura existem várias opções de reparação que podem ser feitas ao nível dos arcos, tímpanos, enchimento e também no tabuleiro. Algumas técnicas de reforço ou de reabilitação podem ser aplicadas exclusivamente a um elemento da ponte, enquanto outras podem ser usadas em vários elementos.

Assim, começa-se por referir técnicas que podem ser aplicadas em vários elementos das pontes: as injeções; o refecimento de juntas; e as pregagens/atirantamentos.

As injeções já foram descritas anteriormente ao nível das fundações, fazendo-se agora uma descrição de como se processa este método na superestrutura, que pode ser aplicado nos arcos e nos pilares. Esta técnica é importante para restabelecer a distribuição dos esforços da estrutura, beneficiando o seu funcionamento nas direções longitudinal e transversal, uniformizando as alvenarias.

Esta técnica deve ser utilizada sempre que a estrutura se apresente incoerente, com um elevado índice de vazios no seu enchimento ou em fendas existentes. Para aplicar esta técnica deve-se fazer inicialmente a limpeza da estrutura e o refechamento das juntas, para que as caldas não possam ser expelidas por aí durante a sua injeção. (Costa, C.)

As injeções podem ser realizadas sob pressão, por gravidade ou em vácuo. A escolha da forma a realizar a injeção vai depender da estabilidade da alvenaria e da sua capacidade de garantir essa estabilidade se sujeita a pressões, devendo controlar-se a pressão da injeção com meios adequados. A injeção sob pressão é feita progredindo de cima e para o lado sistematicamente. Caso seja expelida calda em algum local, a injeção é interrompida, e o mesmo acontece caso não seja possível injetar mais calda.

Devem executar-se furos na alvenaria, com um martelo perfurador e com cuidado para não destruir a alvenaria, que permita a saída de ar e de água durante a injeção, tendo de ser controlados para não permitir a expulsão de finos (Figura 8). Além destes orifícios, devem ser colocados tubos de purga para avaliar se a distribuição da calda está a ser bem executada. Quando ocorre a rejeição da calda e se sabe que esta ainda não está concluída, deve prever-se a realização de furo intermédio para controlo. (Costa, C.; Alves, A.)



Figura 7: Injeção por gravidade (Costa, V.)



Figura 8: Tubos de drenagem (Costa, C.)

Uma vantagem da injeção por gravidade (Figura 7) em relação à anteriormente abordada é o facto de poder ser executada a partir do tabuleiro, não havendo necessidade de fazer aberturas nas alvenarias. No entanto tem como desvantagem a proibição de circular na ponte durante a operação de consolidação. A execução da injeção à pressão pode suscitar a instabilidade da estrutura, naquelas que se encontram mais instáveis. (Costa, C.)

Para estas injeções podem ser utilizados diferentes tipos de caldas: caldas de resina, caldas de cimento e caldas de cal e areia. Para se definir o tipo de calda a utilizar na injeção devem ser considerados alguns fatores como a sua fluidez e capacidade de penetração. Mais

comumente são utilizadas as caldas de cal e areia, por serem as mais compatíveis com a alvenaria. No entanto podem ser usadas injeções de resina na selagem de fissuras e ainda caldas de cimento de baixa retração, que não são aconselháveis no caso de as pedras serem muito porosas. Estas últimas são ainda desaconselhadas uma vez que são as principais responsáveis pela erosão das pedras e, em caso de presença de água no interior do enchimento, não permitem a evaporação da mesma para o exterior da alvenaria, ao contrário das caldas à base de cal. (Rodrigues, N.)

Relativamente à técnica de refechamento de juntas, esta é aplicada sempre que necessário, isto é, quando se observa a perda ou degradação da argamassa das juntas. Pode ainda ser executado este procedimento quando as juntas existentes tenham sido executadas com um material inadequado. Esta técnica permite melhorar o funcionamento da estrutura, já que impede a entrada de água na estrutura e aumenta a superfície de contacto entre as pedras, promovendo uma melhor dissipação dos esforços.

Esta técnica inicia-se, tal como nas injeções, pela limpeza da estrutura, removendo a vegetação que possa existir. De seguida faz-se a picagem e lavagem com jacto de água a baixa pressão para remover restos de argamassa existentes, sujidade e detritos existentes. Deve-se garantir a estabilidade da estrutura durante esta operação para que não ocorram degradações na estrutura pelo enfraquecimento das ligações. (Alves, A.; Costa, C.)

Após a limpeza das juntas passa-se à execução do refechamento com a nova argamassa. Esta deve ser compatível com o material pétreo, pois caso se aplique uma argamassa cimentícia muito forte pode causar fendilhações nos blocos, já que o sistema de degradação de tensões se baseia nos blocos fortes e ligações fracas e não o oposto. (Costa, C.) A argamassa deve ser à base de cal e inertes para permitir a correta dilatação do material em relação ao material pétreo.

A argamassa deve ser colocada com recurso a uma colher de refechamento para realizar o correto “aperto” da argamassa. A argamassa não deve ficar exterior aos blocos, pois promove a sua desagregação e escorrências, danificando a estrutura. Deve apresentar uma forma côncava entre os blocos. (Figuras 9 e 10)

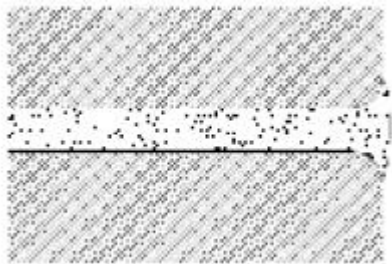


Figura 9: Acabamento incorrecto da junta
(Alves, A.)



Figura 10: Acabamento correcto da junta
(Alves, A.)

Por último, relativamente às técnicas que envolvem vários elementos das pontes, refere-se agora as pregagens/atirantamentos. Esta técnica é usada quando não há coesão entre os elementos dos tímpanos e/ou arcos ou quando existem deslocamentos transversais, promovendo a melhoria no comportamento transversal da ponte.

Esta técnica consiste na colocação de tirantes de aço inoxidável em furos realizados nos arcos ou nos tímpanos, com dispositivos nas extremidades que permitam a sua amarração nas faces exteriores dos paramentos. Após o posicionamento dos reforços, estes são selados com caldas de injeção. No caso de se utilizarem pregagens com gatos metálicos, os tirantes devem ser posicionados em furos transversais, com uma das extremidades dobrada sobre ranhura superficial aberta na face da pedra, sendo a dobra executada in-situ, após serem seladas as ranhuras. (Costa, V.)

Trata-se de uma técnica de reforço passivo, que aumenta a resistência da estrutura, não alterando o comportamento da mesma. (Alves, A.)

As pregagens podem ser utilizadas transversalmente, o que acontece com maior frequência, ou então verticalmente, quando ocorra a separação entre o arco e o intradorso da ponte. Pode-se fazer o atirantamento nos tímpanos quando estes apresentem deformações como o “embarrigamento” ou fendas graves. No entanto, como as pedras têm aí tamanho variável e não existe tanta coesão entre elas como nos arcos, o efeito vai ser muito localizado, não tendo por vezes o resultado desejável.

Assim sendo, o atirantamento vai ser tanto mais eficaz quanto maior a pedra em que for localizado, devendo encontrar-se o mais possível no seu centro e afastado das juntas. Quando as pedras nos tímpanos não são regulares, esta tarefa encontra-se dificultada, principalmente quando as juntas são grandes e as pedras mais pequenas. Nestes casos, deve deslocar-se o furo para uma das maiores pedras, sendo no entanto difícil de prever em que lugar exato o furo vai dar à superfície do outro lado da ponte. (Alves, A.)

As pregagens iniciam-se pela marcação do local ou locais onde será realizado o furo, fazendo-se de seguida a furação. De seguida são colocados os negativos de PVC onde passarão os tirantes. Posto isto passa-se à colocação das cabeças de ancoragem e ao aperto dos tirantes, fazendo-se posteriormente a injeção com calda de cimento dos orifícios

dos tirantes. Para não causar impacto visual, deve-se cortar os varões que ficam à vista, fazendo-se o remate final com uma pedra semelhante à existente (pedra de capeamento).



1. Perfuração



2. Saída da perfuradora na outra extremidade



3. Introdução das barras de aço



4. Pormenor da extremidade do tirante



5. Injecção do tirante



6. Ancoragem do tirante



7. Pedra de capeamento



8. Capeamento executado

Figura 11: Execução de pregagens na Ponte do Pessegueiro (Alves, A.)

Finalizando assim as técnicas de reabilitação/reforço comuns a vários elementos da superestrutura, importa agora realçar algumas técnicas aplicáveis ao arco, porventura o elemento mais importante na degradação dos esforços.

Um método para o reforço do arco é a adição de uma camada de betão ao arco, usando-se esta técnica quando o arco tem pouca espessura ou o seu material se encontra degradado. Esta laje poderá ser colocada no extradorso ou no intradorso do arco, podendo conter aço ou ser reforçada com fibras de material compósito e pode ser executada *in situ*, usar pré-fabricados ou ser executada através de betão projetado. A colocação da camada de betão pelo extradorso causa mais perturbações, já que é necessário retirar o pavimento e o material de enchimento para se realizar a operação, impedindo a circulação do trânsito e levando a mais operações. No caso da colocação do reforço pelo extradorso, o arco antigo pode servir apenas de cofragem ao novo arco, garantindo este a transferência das cargas, ou podem funcionar os dois, dividindo as cargas entre os dois. A colocação do betão pelo intradorso não envolve tantos condicionalismos, no entanto altera o aspeto da ponte, já que o reforço fica visível. Além disso diminui a altura livre do arco. No caso do reforço pelo exterior da ponte, é mais vantajoso recorrer-se ao betão projetado já que não é necessário usar cofragem e o material adere ao suporte com facilidade. Apesar disto, o uso de betão na estrutura condiciona ainda a passagem de água na estrutura, já que torna o arco impermeável, levando a que exista pressão da água nos elementos, como os tímpanos. Além disto, os sais presentes no betão podem levar à degradação da alvenaria. Assim, o uso desta técnica deve ser muito ponderado já que pode ter muitos impactos negativos na ponte.

Como solução de reforço pode ainda considerar-se a execução de uma laje de betão armado no tabuleiro, que permite distribuir os esforços e resistir melhor aos mesmos. Permite ainda, em casos necessários, alargar o tabuleiro da ponte para melhorar a circulação do trânsito. Apesar de condicionar a circulação do tráfego, é uma operação relativamente simples que exige apenas a remoção do pavimento inicial, a regularização da superfície e a execução da laje de betão armado. Em ensaios realizados em pontes com este tipo de reforço e sem nenhuma ação realizada concluiu-se que a carga última aumentou cerca de 3,7 vezes em relação à solução não reforçada. (Costa, C.)

Como complemento das medidas anteriormente apresentadas como reforço para o arco, ou isoladamente, pode ainda considerar-se a substituição do material de enchimento por betão leve ou por outros materiais que aliviem o peso que o enchimento tem na estrutura. Deve no entanto considerar-se que o material a colocar seja permeável para permitir a circulação da água no interior da estrutura.

Por último, pode ainda fazer-se um reforço do arco externamente ou interiormente com recurso a elementos metálicos ou compósitos. Este reforço tem por objetivo reduzir as cargas que o arco tem de dissipar, sendo possível transmitir os esforços para os novos materiais. Apesar de ter impacto visual caso seja colocado no intradorso do arco, este é menor do que no caso de técnicas já descritas que envolvem a execução de estruturas de betão. Esta técnica pode ser executada de várias formas, desde a colocação de varões de aço no intradorso em conjunto com pregagens radiais e ancoragens transversais, colocação de barras de aço inoxidáveis cravadas perto da superfície em ranhuras e furos pelo intradorso ou barras de material compósito pelo intradorso. Além destas pode também fazer-se o reforço no extradorso do arco, no qual se coloca varões na direção longitudinal, presas nos encontros, juntamente com uma manta de fibra em carbono para reforço transversal ou tirantes metálicos transversais.

Para finalizar as técnicas de reabilitação/ reforço, falta ainda considerar a impermeabilização da estrutura. Como já foi referido, a circulação de água no interior da estrutura pode prejudicar muito a mesma, desde o desenvolvimento da vegetação, humidades e à lavagem dos finos, até à própria pressão exercida pela água em relação aos tímpanos. Assim deve-se prever, quando assim se justificar, a impermeabilização do tabuleiro e o melhoramento do sistema de drenagem, devendo a impermeabilização ser feita o mais próximo possível da superfície para evitar as pressões hidrostáticas nos tímpanos e encontros.

A impermeabilização do tabuleiro pode ser conseguida através da execução de uma laje de betão de 10 a 15 cm em conjunto com a colocação de uma tela impermeabilizante colocada abaixo da laje (Rodrigues, N.), prevendo-se a reposição posterior do pavimento existente caso seja possível ou por um de características semelhantes que não descaracterize a obra de arte. Pode também colocar-se, após a tela e a laje, uma camada de tela asfáltica líquida, fácil de espalhar e com boa aderência (Alves, A.). Quando se procede a intervenções no tabuleiro deve prever-se a realização de uma inclinação suficiente para que não haja acumulação de água no mesmo e que facilite o encaminhamento para sarjetas que se encontrem fora da ponte.

A par destas impermeabilizações deve considerar-se a limpeza dos órgãos de drenagem para permitir o escoamento da água. Caso estes se encontrem degradados ou se revelem insuficientes para a quantidade de água que têm de escoar deve-se prever a sua reparação/substituição. Pode prever-se a colocação de pingadeiras em aço galvanizado onde existem os bueiros, afastando a extremidade de perto do muro para não provocar escorrências. A sua colocação deve permitir a escorrência das águas que existam superiormente à manta geotêxtil, caso na intervenção se opte pela sua colocação.

3.3 Demolição e Reconstrução

Por último resta considerar o desmonte e reconstrução total ou parcial da obra de arte. Esta técnica não é muito usada por ser muito morosa e acarretar elevados custos, principalmente se não for possível aproveitar-se o material de origem na reconstrução, além de ser difícil encontrar mão-de-obra especializada para realizar esta construção com as técnicas antigas, que lhe permitem maior durabilidade (Costa, C.). Sendo assim, esta apenas é usada quando há uma grande degradação da ponte e simultaneamente quando tem grande valor patrimonial.

Esta técnica aplica-se a pontes que tenham sofrido colapsos, totais ou parciais, repondo as condições de geometria e funcionamento original da ponte, e corrigindo situações de fendilhação ou deformação excessivas, melhorando as condições mecânicas da alvenaria. (Costa, C.; Costa, V.; Moraes, M.; Rodrigues, N.)

Para a realização desta técnica deve começar por se fazer o escoramento de toda a ponte e passar de seguida à numeração das pedras para posteriormente se colocarem nas posições devidas. Deve sempre que possível aproveitar-se as pedras de origem, e quando tal não for possível deve procurar-se alvenaria que possua as mesmas características da existente. A escolha da argamassa também deve ser cuidadosa, devendo prever-se o uso de argamassa à base de cal hidráulica e areia, de cor semelhante à da alvenaria.

4 CASOS DE ESTUDO

4.1 Descrição das pontes

Antes de se iniciar a descrição das pontes, importa referir que a inspeção realizada foi apenas visual (idêntica à inspeção de rotina), sem se recorrer a qualquer tipo de equipamento que não o necessário para o levantamento fotográfico e de medição. Assim os meios utilizados foram uma máquina fotográfica, uma fita métrica e um bloco de notas.

De referir que em algumas pontes a sua inspeção foi condicionada devido à falta de acesso ao local ou à intensa vegetação que encobria a ponte, não permitindo uma melhor avaliação do seu estado.

Passa-se de seguida à apresentação das pontes.

1. Ponte Nova de Formariz

A ponte localiza-se no lugar de Ponte Nova (figura 12), nome dado exatamente devido à construção desta ponte, e pertence à freguesia de Formariz, no concelho de Paredes de Coura (coordenadas 41.916229, -8.583394). Atravessando o Rio Coura, situa-se a jusante de um viveiro de trutas existente nessa freguesia, e está incorporada numa área em que a pesca é das principais atividades recreativas.



Figura 12: Ponte nova de Formariz - Localização

Pouco se sabe desta ponte, além de que a sua construção se deveu ao pedido feito pelos habitantes das freguesias de Ferreira e Formariz que em 1784 requereram à rainha D.

Maria a primeira provisão para a sua construção, para assim verem diminuir a distância que os separavam. (Brandão, M.) Na figura 13 apresenta-se uma fotografia da vista montante da ponte de Formariz.



Figura 13: Ponte nova de Formariz - Vista jusante

Não é conhecida a data em que a sua construção se deu por terminada, nem nenhuma intervenção posterior, sabendo-se apenas que o pavimento do tabuleiro inicial foi substituído aquando da pavimentação da estrada e que nas pedras que constituem os guarda-corpos foram colocados agrafos, tal como se apresenta na figura 14, possivelmente na mesma altura em que foram colocadas as guardas metálicas.

Sabe-se que em 1995 foi realizada uma intervenção por parte da Câmara Municipal de Paredes de Coura, que contemplou a reposição das guardas de granito, incluindo o fornecimento daquelas que não pudessem ser recuperadas do fundo do rio. (Arquivo) Deduz-se daí que algum impacto poderá ter feito com que algumas pedras caíssem no rio, tendo assim sido necessária a sua recolocação e sendo possível que nessa altura tenham sido colocados os agrafos metálicos referidos.



Figura 14: Ponte nova de Formariz - Vista superior das guardas de pedra com o agrafo metálico

A ponte é composta por um tabuleiro em cavalete, com orientação nordeste-sudoeste, pavimentado em asfalto, assente sobre um único arco com aduelas relativamente largas e curtas, formando extradorso regular. Apresenta muros tímpano com aparelho de alvenaria e guardas em silhares graníticos constituindo uma pequena altura, que acompanham o desenvolvimento da ponte. Existem também guardas metálicas de ambos os lados, mas já fora do tabuleiro da ponte.

O seu comprimento total é de 27,7 metros, com uma largura média de 3,4 metros, tendo o arco aproximadamente 9 metros de altura, sendo 7,8 metros de altura livre e possui os denominados baldoeiros, reentrâncias no intradorso do arco, onde eram apoiados os cimbres de madeira para a execução do arco da ponte.

2. Ponte da Peideira

A ponte da Peideira faz a ligação entre o lugar de Santa, pertencente à freguesia de Paredes de Coura, e a freguesia de Moselos (coordenadas 41.919278, -8.555469), fazendo uma travessia do Rio Coura. Pode-se observar o seu enquadramento na seguinte imagem (figura 15).

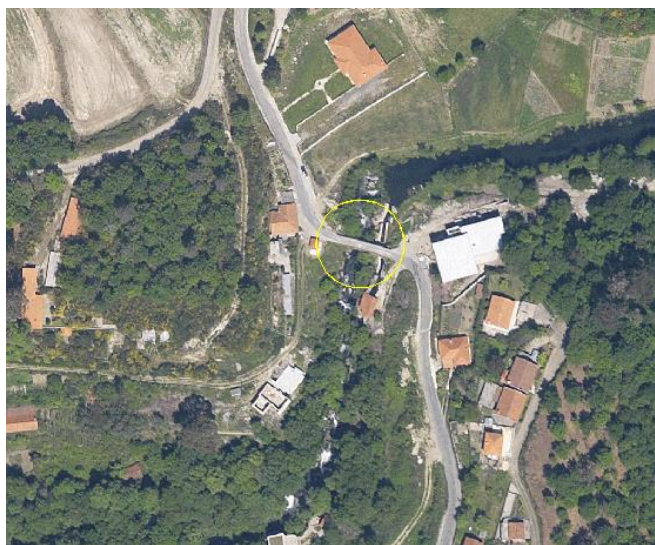


Figura 15: Ponte da Peideira - Localização

Ponte de alvenaria granítica, possui um único arco de volta perfeita, com aduelas largas e curtas, não sendo visível qualquer tipo de argamassa nas juntas. Os muros tímpano são de alvenaria aparelhada, encontrando-se cobertos por vegetação. Possui guardas baixas em silhares de granito, que alargam de ambos os lados sobre as margens, aqui com argamassa de cimento a unir a pedra. A ponte tem orientação este-oeste, com um tabuleiro composto por asfalto e com pequenos orifícios para o escoamento da água que se acumula no pavimento.

Esta ponte terá sido construída no século XVIII e a pavimentação do tabuleiro em betuminoso terá ocorrido na segunda metade do século XX (SIPA). Tem o número da base de dados do património arquitetónico do IHRU (Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana) IPA.00005159.

Da mesma altura da construção da ponte é também a construção das alminhas e da imagem de Nossa Senhora sob um alpendre, que terá posteriormente recebido uma cobertura, no século XX. Também nesta altura terá sido feita a consolidação das guardas e reformas gerais nas alminhas. (SIPA)

A sul da ponte encontra-se um moinho, em fase de reconstrução, de alvenaria de granito e cobertura com estrutura de madeira e telha cerâmica. Tudo isto envolto num ambiente rural, enquadrado de densa vegetação que desce até ao rio e abraça a ponte. Na figura 16 apresenta-se uma fotografia que enquadra a ponte no seu ambiente.



Figura 16: Ponte da Peideira - Vista montante

Tem um comprimento de aproximadamente 30 metros, com uma altura até à superfície da água de cerca de 8,7 metros e uma largura de aproximadamente 3,4 metros, com os baldoeiros para apoio do cimbrio. Junto à margem direita, e de ambos os lados, existe um enrocamento junto aos encontros, possivelmente datando da mesma altura da construção da ponte.

A ponte encontra-se rodeada por vegetação, dificultando a inspeção, pelo que não foi possível avaliar corretamente o seu estado de conservação.

3. Ponte da Peorada

A ponte da Peorada, localizada no limite entre as freguesias de Rubiães e Cossourado (coordenadas 41.904200, -8.626404), faz uma travessia do Rio Coura e insere-se no caminho português de Santiago (figura 17).

Possui três arcos de cantaria, sendo o central maior que os laterais e de volta perfeita e é classificada como Imóvel de Interesse Público, de acordo com o Decreto n.º 44 075, DG, I Série, n.º 281, de 5-12-1961. (IGESPAR - Instituto de Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico, I. P.) Tem o número IPA.00002237 do IHRU.

Segundo Narciso Alves da Cunha (Cunha, N.), esta ponte data do período romano, com base na sua estrutura e na existência de um marco miliário pertencente à via romana de Braga, no lugar de Crasto, localizado a cerca de 200 metros.

O IGESPAR, pelo contrário, considera que a ponte será de origem medieval, devido ao seu tabuleiro em cavalete e uma vez que se insere numa rota medieval, considerando os séculos XIII/XIV como provável data da sua construção.

Há ainda outros autores que consideram que a sua geometria terá resultado de uma reconstrução na época moderna. O IGESPAR discorda, considerando que se existiu alguma intervenção na época moderna terá sido de carácter pontual, como os acessos e as guardas. (IGESPAR)

A última intervenção considera-se ter ocorrido em 1979 e consistindo em limpeza da vegetação e trabalhos de conservação. (SIPA)



Figura 17: Ponte da Peorada - Localização

A ponte é composta por um tabuleiro em cavalete com direção noroeste-sudeste, com piso em pedras de granito irregular. O tabuleiro assenta em três arcos, tendo a ponte um quebra-

mar a montante. Possui guardas em granito, de dimensões aproximadamente iguais entre si, sem nenhuma argamassa a ligá-las. As aduelas são largas e curtas, formando um extradorso regular.

O acesso a esta ponte é restrito apenas feito por peões, encontrando-se num ambiente rural e com campos de cultivo ao seu redor.

Tem aproximadamente 30 metros de comprimento, com uma largura de 3,5 metros, medindo cerca de 1,4 metros de altura entre o topo das guardas e o topo do intradorso do arco, possuindo uma altura livre desse ponto até perto das fundações de 5,1 metros. Na figura 18 pode-se observar uma fotografia tirada a jusante da ponte. Devido à falta de acessibilidade, não foi possível tirar uma fotografia que permitisse observar toda a ponte, apresentando-se no capítulo seguinte fotos onde se pode observar os seus três arcos individualmente.



Figura 18: Ponte da Peorada - Vista jusante

O fato do tabuleiro ser em cavalete remete para uma construção do período medieval, já que as pontes romanas têm como característica o tabuleiro horizontal. No entanto, sabe-se também que em algumas pontes de dimensões mais pequenas o tabuleiro poderia ser em cavalete, pelo que não é um fator decisivo na datação da ponte.

Tem-se ainda conhecimento de que o caminho romano passava efetivamente por aquele local, confirmado pela existência do marco miliário, mas sabe-se também que os caminhos medievais por vezes, retilhavam apenas os caminhos romanos. Assim, pode ter ocorrido durante a época medieval alguma intervenção na ponte, daí a explicação para os traços medievais encontrados, como alguma pedra de dimensões mais pequenas no acesso às rampas do tabuleiro e noutros locais da ponte.

Não pode ser assim definida com toda a certeza a época de construção desta ponte, ainda assim o IGESPAR considera as suas características baixo-medievais.

4. Ponte da Feteira

A ponte da Feteira localiza-se na estrada nacional 301 (coordenadas 41.919760, - 8.553311), fazendo a ligação entre a freguesia de Moselos e a Vila de Paredes de Coura, à semelhança da ponte da Peideira, sobrepondo o Rio Coura a pouca distância uma da outra. Na figura 19, observa-se a sua integração no ambiente envolvente, ambiente rural com paisagens verdejantes e moradias isoladas.



Figura 19: Ponte da Feteira - Localização

Não se conseguiram obter dados acerca da data de construção desta ponte, não existindo qualquer informação disponível. No entanto, pela sua forma de construção, com a pedra aparelhada e juntas bem definidas e argamassadas, depreende-se que a sua construção date do período moderno, não havendo no entanto nenhuma confirmação desta datação.

Na imagem 20, pode-se observar um enquadramento do alçado montante da ponte, com o arco abaulado e pesados pilares de encontro, construídos em alvenaria de granito aparelhada.



Figura 20: Ponte da Feteira - Alçado montante

Aquando da inspeção visual, foi possível verificar que algumas pedras graníticas dos guarda-corpos da ponte foram substituídas por pedras novas, tendo igualmente sido refeitas as juntas com argamassa, como se pode observar na imagem 21.



Figura 21: Ponte da Feteira - Guarda-corpos

A ponte é constituída por um tabuleiro, pavimentado em tapete de direção norte-sul, e guardas em granito, altas e regulares, com juntas argamassadas. O arco abaulado de cantaria possui aduelas de tamanhos iguais que formam um extradorso regular e o seu intradorso é constituído por silhares de cantaria argamassados. O arco assenta em robustos pilares encontro, também em cantaria de granito aparelhada.

O pavimento encontra-se em bom estado, estando pavimentado em tapete betuminoso. No seu alçado poente passa uma conduta de abastecimento de água e outra de drenagem de águas residuais, ambas em ferro fundido, não sendo possível observar se existem danos relacionados com a possível oxidação das tubagens e que possam afetar a ponte.

Esta ponte mede cerca de 16 metros de comprimento, com uma largura de aproximadamente 6 metros no pavimento, entre as guardas. Entre o topo destas e o topo do

intradorso do arco tem-se cerca de 2,5 metros de altura, enquanto daí até à linha de água tem-se 9,5 metros.

De realçar que apenas se pôde observar o alçado nascente da ponte, devido à falta de acessibilidade do outro lado, que é impossibilitada pela vegetação nos campos adjacentes à ponte.

5. Ponte de São Martinho de Coura

A ponte de São Martinho de Coura localiza-se nesta freguesia do concelho de Paredes de Coura, na Estrada Municipal 515, entre o km 23 e 24 (coordenadas 41.886323, -8.658583), enquadrada numa paisagem dominada por campos agrícolas e fazendo uma travessia do Rio Coura, sendo precedida a montante por uma pequena queda de água (figura 22).



Figura 22: Vista do rio a montante da ponte



Figura 23: Ponte de S.Martinho de Coura - Localização da ponte

A construção da ponte terá sido na idade média, não havendo no entanto informação sobre em que século poderá ter ocorrido. (SIPA) Não é especificada nenhuma razão para esta datação.

Esta ponte possui um tabuleiro em cavalete, com direção norte-sul, assente num único arco de volta perfeita. O arco é constituído por silhares graníticos e com aduelas relativamente compridas que formam um extradorso irregular. Os encontros são constituídos por pedras retangulares de granito não argamassadas. Possui ainda os baldoeiros como marca de apoio do cimbrio.

A ponte sofreu uma intervenção em 1987, que consistiu no seu alargamento, aquando da pavimentação da estrada em que se insere, tendo para isso sido realizado um tabuleiro em betão armado. Junto à margem direita, após o muro tímpano, foi construído um encontro em betão, formando uma passagem por baixo do tabuleiro de betão, que desse lado se encontra apoiado em pilares de betão.

No projeto referente ao alargamento da ponte estava prevista a substituição das guardas da ponte em granito existentes por guardas metálicas. Apresenta-se em seguida uma imagem do projeto de reabilitação da ponte.

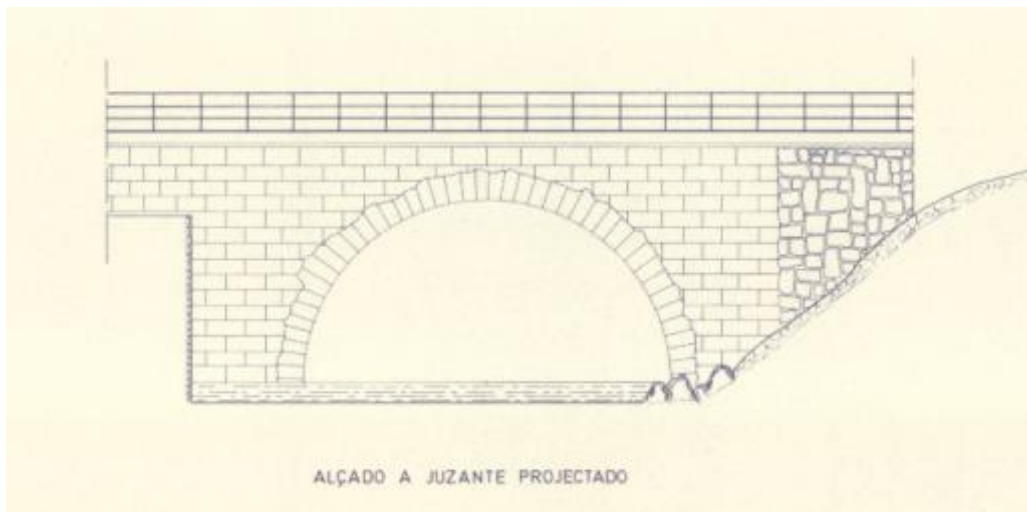


Figura 24: Ponte de S.Martinho de Coura - Alçado jusante proposto (arquivo)

No entanto, a substituição das guardas por elementos metálicos não aconteceu, mantendo-se as guardas de granito e existindo apenas uma pequena parte com guarda metálica, como se pode observar na imagem 25.



Figura 25: Ponte de S. Martinho de Coura - Vista do alçado jusante existente

As guardas foram levantadas quando foi realizado o alargamento do tabuleiro da ponte, tendo sido posteriormente repostas, fazendo o correto alinhamento que agora se vê. É possível observar-se a existência de argamassa de cimento nas juntas das guardas, bem como “agrafos” metálicos a unir as guardas. (figura 26)



Figura 26: Juntas argamassadas e agraños metálicos

Esta ponte tem um comprimento de 23 metros, com uma altura do topo das guardas até às fundações de cerca de 7 metros. Entre o topo das guardas e o topo do intradorso do arco tem-se cerca de 2 metros de altura, possuindo 3,7 metros de largura no pavimento.

Na inspeção só foi possível observar corretamente o alçado jusante, pois o desnível do terreno não permitia uma análise próxima do local do lado montante.

6. Ponte do Arrieiro

A ponte do Arrieiro localiza-se em Rubiães, no lugar de Casais, fazendo a travessia do regato da Codesseira. A ponte foi mandada construir pelo abade João Soares Brandão, natural de Rubiães mas a residir no Brasil, que encomendou a sua construção a dois mestres pedreiros, tendo a empreitada custado 274\$000 reis, e tendo terminado entre 1752/1753. (SIPA) Na imagem seguinte apresenta-se uma imagem aérea da zona onde se localiza a ponte (coordenadas 41.884255, -8.633767). (Figura 27)



Figura 27: Ponte do Arrieiro - Localização

Enquadrando-se no período moderno, a ponte é constituída por um arco de volta perfeita, com aduelas curtas e largas, onde assenta o tabuleiro em calçada de granito, já bastante desgastada. Possui guardas em cantaria, de pouca altura, prolongando-se do lado nascente por parte do caminho existente, também ele em calçada. Os encontros são constituídos por alvenaria de granito mal aparelhada. Na figura 28 mostra-se uma vista sobre a ponte, com o seu tabuleiro em calçada.



Figura 28: Vista sobre a ponte do Arrieiro

No centro da ponte, do lado Norte, encontra-se uma cruz em pedra, com apenas um braço, e nas quais se pode ler “ESTA OBRA MA/ NDOVFA’ZER P/ ORSVA DEVOÇA/ OOR.VIGROJOA/OSOARES BRAN/ DAODESTA.FRG/ ANNO DE 1753”, [ACER] fazendo

referência a quem a mandou construir e em que ano, encontrando-se a inscrição já muito desgastada pelo tempo.

Não se conhece nenhum histórico de intervenção na ponte e na inspeção realizada foi apenas possível observar um alçado, devido à falta de acesso.

A ponte tem 15 metros de comprimento, com 3 metros de largura no pavimento. Possui cerca de 5,45 metros de altura do topo das guardas até junto das fundações, enquanto entre o topo das guardas e o topo do intradorso mede 1,5 metros.

7. Ponte Nova do Crasto

A ponte Nova do Crasto localiza-se na freguesia de Rubiães, no lugar de Crasto (coordenadas 41.896815,-8.633323), transpondo o Rio Coura, num local de campos de cultivo e de crescimento de árvores como carvalhos e salgueiros, isolada de habitações (figura 29).



Figura 29: Ponte do Crasto - Localização

Esta ponte terá sido mandada construir pelo padre João Soares Brandão, na segunda metade do século XVIII. (Cunha, N.) Tem o IPA número.00003511.

A ponte do Crasto possui três arcos de volta perfeita, sendo maior o que se encontra junto à margem esquerda, compostos por silhares graníticos e com aduelas curtas e largas, formando extradorso irregular. As guardas, também em silhares graníticos, alargam sobre a margem direita. Nesta margem, os encontros estão cimentados. (Figura 30)



Figura 30: Ponte do Crasto - encontro cimentado na margem direita

Possui ainda um quebra-mar prismático a montante, em cantaria, com as juntas argamassadas. O tabuleiro, com direção Nordeste-Sudoeste, encontra-se pavimentado com tapete, existindo apenas pequenas aberturas junto às guardas para a drenagem da água da chuva. Junto à margem esquerda, o pavimento é rampeado, junto ao primeiro arco.

Na figura 31 pode-se observar uma vista de montante da ponte com os seus três arcos, não sendo possível uma melhor imagem devido à vegetação existente no local e à dificuldade de acesso.



Figura 31: Ponte do Crasto - vista de jusante da ponte

Esta ponte possui cerca de 46 metros de comprimento, com uma largura de 4,4 metros. Entre o topo das guardas e o fim da pedra de fecho do arco maior a ponte mede cerca de 1,7 metros, com uma altura daí até junto das fundações de cerca de 5,7 metros.

A vegetação que encobre a ponte impossibilitou a correta inspeção em ambos os alçados, pouco se conseguindo observar no alçado jusante.

8. Ponte dos Caniços

A ponte dos Caniços localiza-se no lugar de Antas, na freguesia de Rubiães (coordenadas 41.893217, -8.648315) e faz uma travessia do Rio Coura na Estrada Municipal 1075, já perto da freguesia de São Martinho de Coura. (figura 32)



Figura 32: Ponte dos Caniços - localização

Sobre esta ponte apenas se sabe que o nome se deve à existência dos antigos moinhos localizados junto à ponte. Junto à margem esquerda da ponte existe um pequeno túnel junto ao encontro, que teria sido de passagem da água que serviria aos moinhos.

Sabe-se ainda que esta ponte foi reforçada em 1992, quando foi feita a pavimentação da estrada na qual ela se insere. Esse reforço traduziu-se pela retirada das guardas de pedra para execução de uma laje de betão armado, com espessura de 0,30 metros, com posterior recolocação das pedras das guardas alinhadas argamassadas com argamassa de cimento. (arquivo).

A ponte possui um tabuleiro em cavalete, com direção noroeste-sudoeste, pavimentado com tapete e sem nenhum sistema de drenagem. Possui um único arco, de volta perfeita, com silhares graníticos e aduelas largas e curtas, que formam extradorso irregular. Possui ainda os baldoeiros no seu intradorso. As guardas são também em pedras graníticas, argamassadas. Na margem esquerda, os muros tímpanos possuem pedras graníticas de

grandes dimensões com pedras mais miúdas nas suas juntas, o que parece tratar-se de uma reconstrução realizada.



Figura 33: Ponte dos Caniços - vista do alçado jusante

Não foi possível observar o alçado montante, devido à falta de acesso ao local.

9. Ponte de Mantelões

Fazendo uma travessia do rio Coura (figura 34), a ponte de Mantelões (coordenadas 41.917235, -8.573707), localizada na freguesia de Formariz, concelho de Paredes de Coura existia já na idade medieval, confirmado isto por documentos nos quais se refere a existência dos Paços do concelho junto à ponte “em o ditto Concelho avia costume de fazerem as audiências de oito em oito dias à ponte de Mantelais e de quinze em quinze dias à ponte de Ruy Vaaz e de mez em mez no ditto Couto de S. Fins dizendo, que depois desto El-Rey D. João meu Avo, cuja alma Deos haja mandara fazer paços nos Concelhos, e lugares onde fosse mais convinavel e comarquam a todo o povo onde fosse edificado, e porque a ponte de Mantelais fosse mais comarquam fizeram um paço de Concelho em que todos ouvessem de ir responder” fazendo isto referência à carta régia de 27 de Janeiro de 1444, do Rei D. Afonso V. (Cunha, N.)



Figura 34: Ponte de Mantelães - Localização

Não se sabe, no entanto, se a ponte agora existente consiste numa recuperação desta ou se terá sido construída outra no mesmo local, sendo todavia mais aceite a hipótese de uma reconstrução, como “referida na Idade Média e reconstruída na Idade Moderna” (SIPA), resultando a atual de uma reabilitação da anterior.

Pensa-se assim que a ponte foi “alargada sobre os arcos, por meio de um sistema de cachorros, a todo o seu comprimento, com adaptação de novos encontros, nas testeiras.” (Cunha, N.), na altura da construção da estrada que liga Paredes de Coura a S. Pedro da Torre. (SIPA)

A ponte é de alvenaria de granito, de aparelho regular, com três arcos, o central maior que os dois laterais, e tendo uma orientação Norte-Sul, estando enquadrada com a antiga casa de Mantelães (PT011605090100, SIPA) na margem direita e com a antiga Fábrica de Lacticínios (PT011605090016, SIPA) na margem esquerda.

É constituída por robustos pilares encontro retangulares de granito nas duas margens, com guardas de granito nesses locais, enquanto na restante estrutura as guardas são compostas por grades de ferro. Junto aos tímpanos, entre o arco central e os laterais, existem dois quebra-mares, também em alvenaria de granito, mas já não tão regular como o da restante estrutura. As aduelas dos arcos são blocos relativamente compridos, criando um extradorso regular. Pode-se observar na figura 35 uma imagem antiga da ponte, não sendo no entanto possível saber em que ano foi tirada a fotografia.



Figura 35: Foto antiga da Ponte de Mantelães (Arquivo)

Por esta imagem é possível observar que nesta altura não existiam quebra-mares na ponte, sendo portanto possível concluir que a construção destes foi posterior à construção da restante estrutura e daí não ter o mesmo tipo de aparelho.

O tabuleiro foi pavimentado com tapete betuminoso, tendo essa intervenção ocorrido provavelmente na última metade do século XX. (SIPA) Este tabuleiro é suportado por modilhões que sustentam dupla cornija, como se pode observar na imagem seguinte do alçado oeste da ponte.



Figura 36: Ponte de Mantelães- Vista dos modilhões e da dupla cornija

Na margem montante existe uma canalização em ferro fundido de saneamento, denegrindo a aparência da ponte. Na imagem seguinte (figura 37) apresenta-se uma vista do alçado montante da ponte, não sendo possível observar todo o alçado devido à má acessibilidade ao local.



Figura 37: Ponte de Mantelães - vista do alçado montante

Além disso, a última intervenção que ocorreu na ponte, de refechamento das juntas, feita com argamassa de cimento, prejudicou também o aspeto da ponte, pois não se adequa esteticamente ao tipo de estrutura em questão, com o seu valor patrimonial, além dos efeitos negativos que ocorrem na pedra por ação do cimento, que não é compatível com a pedra.

4.2 Anomalias detetadas nas pontes

Durante as inspeções realizadas às pontes foi possível observar o estado geral de cada uma delas. Em todos os casos as inspeções foram condicionadas pelas dificuldades de acesso para uma correta avaliação e pela vegetação que encobre as obras de arte na maioria dos casos.

Posto isto, e após a descrição sumária das pontes realizada no subcapítulo anterior, passa-se agora ao resumo das anomalias encontradas. para se tornar mais simples o seu entendimento, este resumo será feito por grupos de anomalias que se verificaram nas pontes avaliadas.

4.2.1 Anomalias detetadas nos tímpanos

Na zona dos tímpanos foi possível verificar a existência de fendilhação longitudinal entre o arco e o tímpano na ponte 1. Além desta anomalia, observou-se ainda um conjunto de

anomalias encontradas apenas na ponte 3 como o deslizamento e o embarrigamento, que se apresentarão de seguida.

Apresenta-se na imagem seguinte a fissuração longitudinal dos tímpanos, na ponte 1.



Figura 38: Ponte 1 -Fissuração do tímpano

Como se pode observar existe uma fendilhação entre a moldura do arco e o tímpano.

Esta fissuração pode ter uma causa estrutural, como o assentamento dos apoios, levando ao assentamento do arco e consequente separação do tímpano, ou assentamentos diferenciais da fundação que levam ao desalinhamento dos elementos. Pode também estar relacionado com a má drenagem do tabuleiro que permite a infiltração de água no enchimento originando impulsos nos tímpanos e levando à sua fissuração.

Pode ainda resultar de esforços superiores (trânsito de veículos) que provocam sobrecargas que podem não estar a ser corretamente transmitidas à estrutura, causando esta fissuração. A ação combinada dos agentes atmosféricos e da vegetação provoca ainda a erosão das pedras tornando ainda mais frágil a ligação entre estes elementos.

Ainda relativamente aos tímpanos regista-se uma anomalia designada “embarrigamento” do tímpano. Esta anomalia surge apenas na ponte 3 (figura 39) e corresponde a uma deformação para fora do plano da ponte, com a formação de uma “barriga” no tímpano.



Figura 39: Ponte 3 - Embarrigamento do tímpano (vista montante)

Esta deformação causa a abertura das juntas no tímpano, como se observa na figura anterior, que apresenta o tímpano do lado montante. Esta anomalia é particularmente preocupante devido à pequena largura da ponte, que implica uma grande concentração de impulsos nos tímpanos quando o pavimento está sujeito a cargas.

A existência desta anomalia pode dever-se ainda ao aumento dos impulsos nos tímpanos resultantes da acumulação de água no enchimento, que entra pelo pavimento, já que este é extremamente permeável, como se irá descrever posteriormente ou ainda a sobrecargas originada pela passagem de veículos agrícolas.

Com a existência desta anomalia fica comprometida a correta transmissão de cargas do tímpano para o arco, pondo em risco a estabilidade do arco, e podendo levar à perda de blocos do tímpano e à descompressão do enchimento, com consequente abatimento do pavimento da ponte.

Ainda na ponte 3 é possível verificar outra anomalia do tímpano, o deslizamento. A anomalia presente na figura 40 pode-se observar pelo lado jusante da ponte.



Figura 40: Ponte 3 - Deslizamento do tímpano

O fato de esta anomalia estar presente apenas no alçado jusante da ponte, enquanto no lado montante se apresenta um empolamento dos tímpanos, permite concluir que a ligação do tímpano com o arco e o pavimento é mais forte no lado montante do que no jusante.

Esta anomalia, tal como a descrita anteriormente, resulta dos elevados impulsos transmitidos aos tímpanos, devido às sobrecargas exercidas no pavimento e por sua vez transmitidas ao enchimento. Pode ainda resultar da sobrecarga causada pela água no enchimento, que entra pelo pavimento de calçada. Tal como o embarrigamento, também o deslizamento dos tímpanos coloca em risco a segurança do arco ao obrigar a um novo encaminhamento dos esforços.

A existência desta patologia traduz-se na perda de argamassa das juntas, assim como o destacamento e possível perda dos blocos que constituem o tímpano, levando à descompressão do enchimento e a um possível abatimento do pavimento.

Nesta ponte ainda se observa a abertura de juntas nos blocos dos tímpanos. Por se tratar de uma ponte com a alvenaria emparelhada é possível verificar que ocorreu a abertura de juntas por todo o tímpano, tal como se pode observar na figura 41.

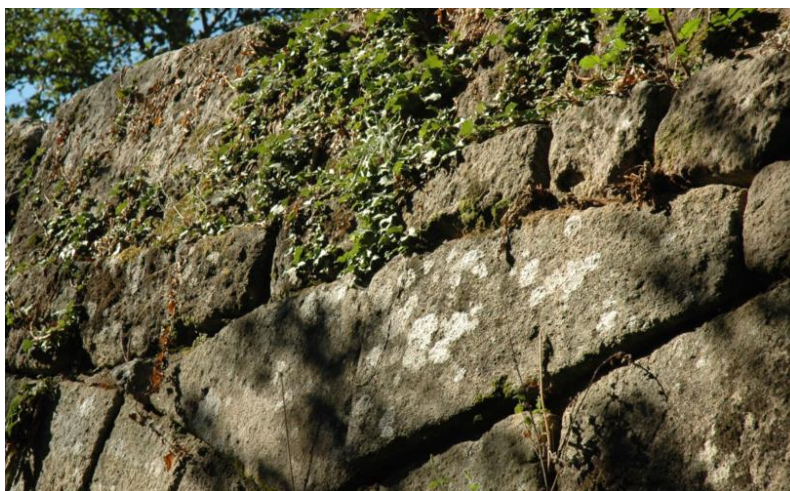


Figura 41: Ponte 3 - Abertura de juntas nos tímpanos

A abertura de juntas pode ter várias causas, como o assentamento dos apoios ou rotações, sendo que neste caso a causa mais provável será os elevados impulsos horizontais na zona dos tímpanos, levando a perda de argamassa das juntas e consequente abertura das mesmas. Também a vegetação contribui para a abertura das juntas, já que as raízes provocam o desgaste das juntas e erosão da alvenaria, provocando esta anomalia.

Deste modo, esta patologia leva à perda da coesão entre os blocos e à perda da resistência dos mesmos, levando a uma redistribuição dos esforços. Pode ainda levar à perda de blocos ou à sua fissuração/fendilhação, quando sujeitos aos esforços.

Nesta ponte é ainda possível observar-se o destacamento dos blocos nos tímpanos. Esta anomalia é visível em todo o tímpano, tal como se ilustra nas imagens seguintes.



Figura 42: Ponte 3 - Deslocamento das pedras do tímpano no arco central



Figura 43: Ponte 3 - Deslocamento das pedras do tímpano junto ao arco da margem esquerda

Esta deformação nos tímpanos pode dever-se a vários fatores relacionados entre si, como o excesso de cargas no pavimento, que transmitem mais cargas ao enchimento, que por sua vez “empurram” os tímpanos. Pode ainda estar relacionada com a presença de água no enchimento, que originam impulsos nos tímpanos, causando estas deformações. Tal como já foi referido, estas condições diminuem a resistência da alvenaria e das suas juntas, levando ao deslocamento dos blocos cujas ligações sejam mais frágeis.

Por último é ainda possível observar-se na ponte 3 a existência de fendilhação de blocos dos tímpanos (figura 44).



Figura 44 – Ponte 3 - Fendilhação de blocos dos tímpanos

Esta fendilhação é pontual, localizando-se apenas em alguns blocos. Esta anomalia pode dever-se a excesso de cargas transmitidas pelo trânsito ou a tensões que possam resultar de movimentos nos apoios. Esta anomalia causa uma diminuição na capacidade resistente dos blocos afetados e assim da estrutura. Além disto, a existência da fissuração permite a infiltração de água na estrutura assim como o desenvolvimento de vegetação e colonização biológica.

4.2.2 Anomalias detetadas nos encontros

Ao nível dos encontros e junto das fundações foram detetadas várias anomalias como fissuração, desagregação dos encontros e perda de blocos.

Nas figuras seguintes observa-se a fendilhação dos blocos localizados junto das fundações.



Figura 45: Ponte 1 - Fendilhação de blocos dos encontros



Figura 46: Ponte 2 - Fendilhação de blocos dos encontros



Figura 47: Ponte 3 - Fendilhação de blocos dos encontros



Figura 48: Ponte 9 - Fendilhação de blocos dos encontros

Da inspeção feita observou-se a existência de fendilhação localizada em alguns blocos dos encontros das pontes 1, 2, 3 e nos muros de encontro da ponte 9.

Esta fendilhação pode dever-se a movimentos nos apoios que originam tensões nos blocos ou a esforços superiores àqueles que os materiais conseguem suportar, devido a um aumento na sobrecarga ou nos impulsos a que a alvenaria está sujeita.

Existem ainda anomalias junto das fundações nas pontes 1, 2 e 5, sendo o caso da ponte 1 o mais severo, apresentando problemas que podem levar à instabilidade da estrutura.

Relativamente à ponte 1, estas encontram-se visivelmente danificadas, apresentando elevada erosão e desagregação das pedras, além de já ter existido o desprendimento e arrastamento de outras, resultando na infra-escavação visível nas imagens seguintes.



Figura 49: Ponte 1 - Erosão na margem esquerda



Figura 50: Ponte 1 - Erosão na margem direita

Também na ponte 2 se presencia anomalias semelhantes nas fundações, no entanto não se encontra tão acentuado como no caso da ponte anterior, tal como se pode observar na imagem seguinte (figura 51).



Figura 51: Ponte 2 – Erosão junto das fundações

Ainda na ponte 5 se observa o mesmo tipo de anomalia, sendo aqui visível a ausência de um bloco na margem direita da ponte além da erosão dos blocos. (figura 52)



Figura 52: Ponte 5 – Erosão dos blocos

Esta separação entre os blocos e a ausência de outros é prejudicial ao sistema estrutural da ponte, pois impede a distribuição normal das cargas, podendo levar à instabilidade da mesma. Esta erosão dos blocos pode-se dever à pequena profundidade das fundações, como acontece neste tipo de pontes de alvenaria de dimensões mais pequenas, que é mais facilmente prejudicada pelo escoamento da água.

Tais danos sobre as fundações, resultam em anomalias estruturais, devendo-se sobretudo à acção da água do rio, que transporta consigo sedimentos que vão deteriorando os elementos de pedra, e mesmo à própria acção mecânica da água. Deve-se igualmente à existência de vegetação que destrói as pedras, abrindo fendas entre elas que se alargam cada vez mais, até ao seu desprendimento. Pode ainda dever-se a alterações no escoamento do rio, devido por exemplo a períodos de cheia que alteram os depósitos de areias, podendo deixar as fundações mais desprotegidas.

No caso da ponte 9, a fendilhação localiza-se nos blocos superiores do encontro (figura 53), sendo assim mais provável que se deva à sobrecarga no pavimento que por sua vez transmite elevados esforços ao enchimento e à alvenaria, do que esteja relacionado com assentamentos de fundações.



Figura 53: Ponte 9 – Fissuração nos encontros

A fissuração prolonga-se além da cornija, no início do encontro, sendo visível nas duas primeiras fiadas de blocos. Não é possível identificar com certeza a causa deste deslocamento das guardas e da fendilhação no encontro. Caso esta se devesse a um assentamento na fundação seria visível a propagação da fendilhação ao longo do encontro, o que não parece ser o caso. No entanto não é possível uma correta análise devido à existência de trepadeiras que obstrui o elemento na zona em que poderia existir a fissuração.

Esta anomalia pode ainda dever-se a algum movimento na zona do tabuleiro, causando este deslocamento nas guardas que se repercutiu na fissuração observada nos encontros. No entanto seria necessário uma inspeção mais rigorosa para saber o que causou esta anomalia.

Estas anomalias traduzem-se na perda de resistência da alvenaria, com a abertura de juntas onde poderá infiltrar-se água e proliferar vegetação que levará ao aumento da erosão dos blocos de alvenaria e à perda de argamassa das juntas.

É ainda visível a desagregação das pedras dos encontros nas pontes 1 e 2 e de forma diferente na ponte 5. Começando pelas pontes 1 e 2, o facto de os encontros serem de aparelho de alvenaria sem argamassa fez com que, devido à erosão provocada pelo vento, pela chuva e principalmente pela vegetação, as pedras se comesçassem a desgastar e a criar espaços entre elas. Pode-se observar nas figuras 54 e 55 esta desagregação nos encontros das duas pontes.



Figura 54: Ponte 1 - Desagregação dos encontros



Figura 55: Ponte 2 - Desagregação dos encontros

É evidente a erosão destas pedras, observando-se os seus cantos arredondados e os vazios existentes entre os blocos. Esta erosão deve-se às ações dos agentes atmosféricos, como o vento, a chuva e mesmo às partículas transportadas por estes. Esta ação, combinada com a vegetação existente, aumenta os espaços de vazios entre as pedras, o que leva ao desenvolvimento de mais vegetação e posteriormente mais danos, num ciclo que leva cada vez a mais estragos na estrutura. As pedras mais miúdas existentes entre as pedras grandes estão em muitos casos completamente soltas da restante estrutura, não estando a participar na transmissão de esforços devidos aos tímpanos. De referir que estes espaços existentes entre as pedras permitem a formação de gelo no Inverno, contraindo as pedras envolventes, e posteriormente quando este descongela permite a dilatação das pedras. Isto leva também ao desgaste das pedras, podendo ainda causar fissurações.

Ainda dentro deste grupo de danos tem-se a ponte 5. Os seus encontros são de silhares graníticos aparelhados, mas com grandes espaços entre si devido a não existir argamassa entre as juntas. Pode-se observar na figura 56 as juntas dos encontros.



Figura 56: Ponte 5 – Mau emparelhamento dos encontros

O grande espaço existente entre as pedras permite a proliferação de vegetação entre os blocos, principalmente das trepadeiras que por aqui se desenvolvem, causando a erosão da alvenaria e levando à sua desagregação. Além disso, a falta de união entre os blocos na zona do tímpano que seria criada pela argamassa nas juntas não permite uma degradação de cargas correta, aumentando os impulsos a que o tímpano está sujeito. No caso desta ponte essas ações não são tão graves devido à existência da laje de betão que degrada as cargas de forma mais uniforme sobre toda a ponte.

4.2.3 Anomalias detetadas nos arcos

Relativamente aos arcos foram identificadas diferentes anomalias nas várias pontes, como a perda de argamassa de juntas, abertura de juntas, fendilhação pontual de aduelas e perda de material das mesmas, assim como a fendilhação longitudinal do arco.

Pode começar por se referir a fendilhação existente nas aduelas, e que é visível nas pontes 1 (figura 57) e 3 (figura 58).



Figura 57: Ponte 1 - Fendilhação localizada



Figura 58: Ponte 3 - Fendilhação localizada

Estas fissurações podem dever-se à existência de tensões superiores às suportadas pela alvenaria. Note-se que tanto na ponte 1 como na 3 foram já descritas outras anomalias em outros elementos estruturais (como os tímpanos) também devido a estas causas. A fendilhação pode ainda dever-se à pressão exercida pela vegetação que se desenvolve no arco, causando a perda de resistência da alvenaria.

Esta anomalia faz diminuir a resistência da estrutura, principalmente se for muito generalizada, levando à abertura de juntas. Esta abertura de juntas leva por sua vez ao desenvolvimento de mais vegetação e permite a entrada de água no intradorso da ponte.

Nas pontes 1 e 3 é possível verificar-se que algumas das aduelas se encontram fraturadas, tal como se apresenta nas figuras seguintes.



Figura 59 – Ponte 1 - Aduelas fraturadas



Figura 60 – Ponte 3 - Aduelas fraturadas

Estas anomalias podem ser causadas por tensões na alvenaria devido a movimentos nos apoios ou ainda a esforços superiores à resistência da alvenaria, devido a sobrecargas causadas pela passagem de veículos ou pela entrada de água no enchimento.

Tal como na fissuração, esta anomalia faz diminuir a resistência da estrutura, principalmente se for muito generalizada, levando à abertura de juntas. Esta abertura de juntas leva por sua vez ao desenvolvimento de mais vegetação e permite a entrada de água no intradorso da ponte.

É possível observar nas pontes 1 (figura 61) e 3 a fendilhação longitudinal do arco junto às faces, com um abatimento do centro do intradorso do arco.



Figura 61: Ponte 1 - Fendilhação longitudinal do arco

Na ponte 3 foi possível verificar esta anomalia nos dois arcos inspecionados (figuras 62 e 63).

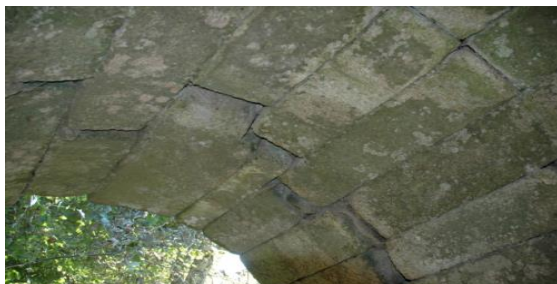


Figura 62: Ponte 3 - Fendilhação longitudinal do arco



Figura 63: Ponte 3 - Separação no arco

Tal como é possível observar na figura 63, na ponte 1 existe uma clara fendilhação que ocorre longitudinalmente no arco. Nesta ponte consegue-se observar o abatimento do enchimento, criando um dano estrutural na ponte, e colocando os blocos que constituem o intradorso sujeitos a flexão.

É ainda visível a existência de fissuras nos blocos dos arcos, não sendo possível distinguir em fotografias, e que ocorrem devido às tensões exercidas nos blocos.

Na ponte 3 é possível observar nos arcos 2 e 3 uma fendilhação longitudinal dos mesmos. No arco 1 não foi possível inspecionar o elemento devido à falta de acesso ao local. Na figura 62 é possível observar a fendilhação no arco 3, numa vista de jusante, vendo que esta se encontra bastante acentuada.

Esta fendilhação longitudinal dos arcos pode dever-se à acumulação de água no enchimento do arco, devido aos danos existentes no pavimento e à falta de drenagem no caso da ponte 1 e no caso da ponte 3 devido à permeabilidade do pavimento. As deformações do arco podem ainda estar relacionadas com o aumento da sobrecarga causada pela passagem de veículos. Em ambas as pontes o trânsito está condicionado. No caso da ponte 1, o trânsito está restrito a veículos com peso superior a 3,5 toneladas e no

caso da ponte 3 o trânsito é condicionado à passagem de peões. No entanto esta última não é cumprida, uma vez que esta ponte é usada para servidão dos campos agrícolas que se encontram perto, passando por lá veículos agrícolas.

A concentração de água no pavimento e o aumento da sobrecarga, aliados à pequena espessura de material entre o arco e o pavimento, levam a que a degradação de forças não seja feita de forma adequada, aumentando as tensões nos tímpanos e nos arcos. A entrada de água é ainda prejudicial pois degrada os elementos, diminuindo a sua resistência, e levando à fendilhação e fissuração.

Nos arcos das pontes 1, 2 e 3 é ainda possível observar-se a abertura de juntas.

Na ponte 2 observa-se a abertura das juntas no topo do intradorso do arco, transversalmente, tal como se pode observar na figura 64 e 65.



Figura 64: Ponte 2 - Abertura das juntas no intradorso

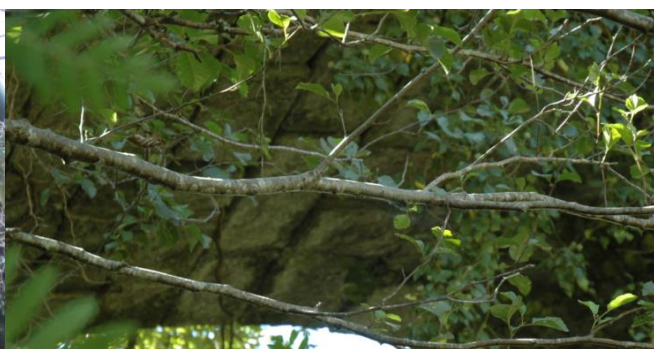


Figura 65: Ponte 2 - Pormenor da abertura e humedecimento das juntas

Esta anomalia, visível nas juntas dos blocos mais próximas do topo do intradorso do arco, deve-se à entrada de água no enchimento, através do pavimento, fazendo a lavagem dos elementos que se encontram perto das juntas e permitindo a saída da água por aí. Como se observa na figura, as juntas mais próximas do topo da ponte, onde a distância entre o pavimento e o arco é pequena, encontram-se enegrecidas pela humidade, devido à passagem da água do enchimento para o exterior por aí.

O facto de a superfície ficar humedecida favorece o desenvolvimento da vegetação, principalmente trepadeiras, que se desenvolvem nas juntas, causando posteriormente a sua erosão devido à ação mecânica das raízes.

Também nas pontes 1 e 3 é possível observar a abertura de juntas no intradorso do arco. (figuras 66 e 67)



Figura 66: Ponte 1 - Abertura de juntas no intradorso do arco



Figura 67: Ponte 3 - Abertura de juntas no intradorso do arco

Estas aberturas das juntas levam à perda da coesão entre os blocos, podendo levar à sua desagregação. Esta anomalia causa instabilidade na estrutura, levando a alterações no comportamento mecânico da mesma, também devido à perda da argamassa das juntas. A passagem da água do pavimento para o enchimento favorece ainda a lavagem dos finos, causando vazios no enchimento.

É possível verificar na ponte 3 que existe uma outra anomalia ao nível do arco que apenas foi possível identificar nesta ponte, tratando-se da perda de material das aduelas. Nesta ponte observa-se esta anomalia tanto na vista jusante (figura 68) como na jusante (figura 69).



Figura 68: Perda de material das aduelas – vista jusante



Figura 69: Perda de material das aduelas – vista montante

Esta anomalia pode dever-se ao embate de objetos ou embarcações que circulem no rio. Pode ainda dever-se a uma perda de resistência da alvenaria devido às pressões exercidas que poderá originar fendilhação na pedra e posteriormente à sua fratura com desprendimento.

Neste caso, as consequências estruturais para a ponte não serão graves, já que se trata apenas de perdas pontuais de material das aduelas, com pouco desenvolvimento.

PERDA DE ARGAMASSA NO ARCO:

Pode agora referir-se o segundo grupo de anomalias observadas nos arcos das pontes inspecionadas, sendo esse a perda ou inexistência de argamassa nas juntas.

Nas pontes 1 e 2 não se observa qualquer tipo de argamassa a ligar os blocos, como se pode observar nas figuras 70 e 71.

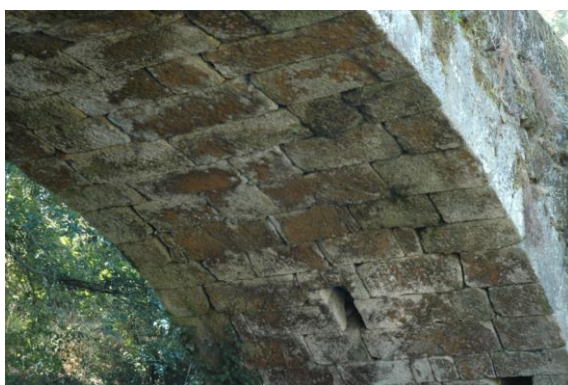


Figura 70: Ponte 1 - Intradorso do arco

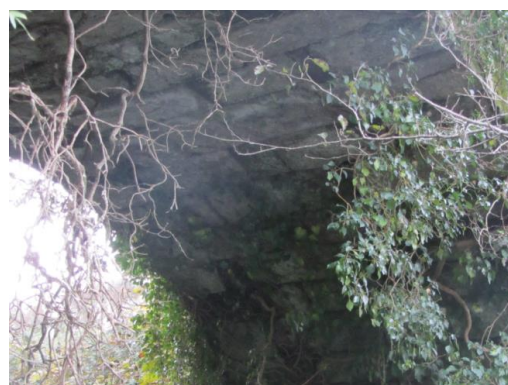


Figura 71: Ponte 2 - Intradorso do arco

Não se observa argamassa a ligar os silhares do arco tanto no seu intradorso como no extradorso. Sendo ambas as pontes do período moderno pode-se supor que existiria argamassa de consolidação das juntas e que a sua ausência se deve ao seu desprendimento.

Na ponte 3 são visíveis vestígios de argamassa de cimento, que poderão ser resultado de alguma consolidação que tenha ocorrido, talvez a referida anteriormente de 1979 como trabalhos de conservação. Pode-se observar os vestígios dessa argamassa na figura seguinte.



Figura 72: Ponte 3 - Intradorso do arco 3

São poucos os locais onde ainda existe argamassa a unir as juntas, tendo praticamente toda desprendido das juntas. No arco central desta ponte não é visível qualquer tipo de argamassa entre os silhares.

Relativamente à ponte 5 não se observa qualquer tipo de argamassa a consolidar os blocos, tal como se observa na figura 73.



Figura 73: Ponte 5 - Intradorso do arco

Sendo uma construção da idade média, é possível que não tenham sido executadas as juntas argamassadas na sua construção e portanto, neste caso, a ausência de argamassa é de raiz e não o resultado do desgaste da mesma.

Pode-se observar o mesmo efeito na ponte 6, tal como se mostra na figura 74.

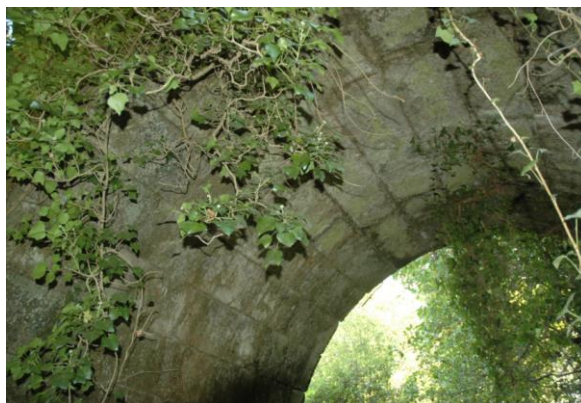


Figura 74: Ponte 6 - Intradorso

Tal como na ponte 5, também aqui a inexistência de argamassa é de origem, não tendo sido argamassadas as juntas na sua construção. Esta conclusão pode retirar-se também pelo tamanho das juntas, sendo que estas são de dimensões muito reduzidas, pelo que não deve ter existido argamassa nenhuma a uni-las.

Relativamente à ponte 7, não é também visível a existência de argamassa, como se pode observar na figura 75.

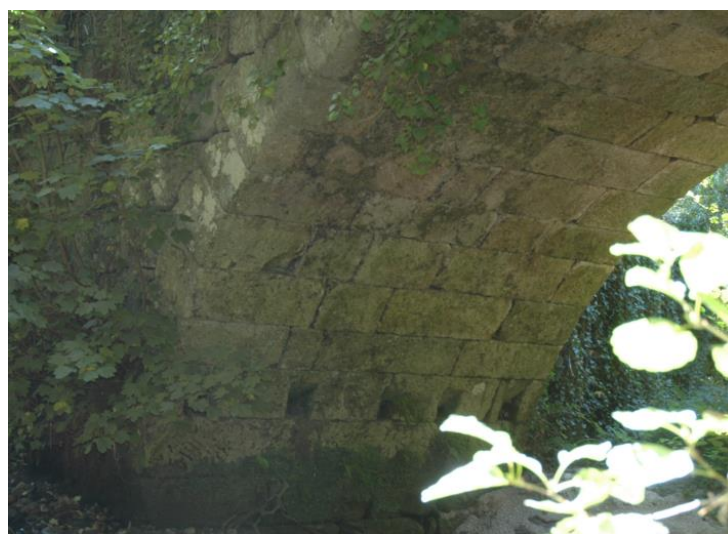


Figura 75: Ponte 7 - Intradorso do arco

A ausência de argamassa nas juntas deve-se ao seu desprendimento causado pelo desgaste e erosão da mesma, uma vez que as suas juntas possuem espaçamentos que teriam de ter sido colmatados com argamassa.

Já na ponte 8 são visíveis vestígios de argamassa, observando-se a sua ausência nos locais mais próximos da água, tal como se observa na figura 76.



Figura 76: Ponte 8 - Intradorso do arco

Este desprendimento da argamassa pode dever-se à ação mecânica do vento e da chuva ou à ação da vegetação. Por um lado tem-se a ação mecânica da chuva e do vento que causam o desprendimento da argamassa pela erosão causada e por outro, as partículas transportadas por estes elementos, que se depositam e que podem originar reações químicas em presença de outros elementos como o caso da argamassa, levando à sua dissolução.

Por outro lado tem-se ainda a ação da vegetação que, com as suas raízes, leva ao desprendimento da argamassa. Pode ainda atribuir-se como causa a água que se infiltra pelos pavimentos das pontes, principalmente quando estes se encontram danificados ou quando são em calçada sem juntas argamassadas, levando à lavagem da argamassa a partir do interior.

Em outros casos, como a ponte 3, as juntas foram refechadas com argamassa de cimento, que não é compatível com a pedra, devido aos diferentes modos de expansão do material, o que leva ao destacamento da argamassa do suporte.

O mau refechamento das juntas permite a proliferação da vegetação nesses locais, além de ser favorecida a lavagem dos finos. Além disso, a perda de argamassa das juntas afecta o comportamento mecânico da ponte e leva à perda de coesão dos elementos.

4.2.4 Anomalias detetadas nos quebra-mares

Relativamente aos quebra-mares foi também possível observar algumas anomalias, nas pontes 3, 7 e 9.

Na ponte 3 é possível observar o deslizamento da parte superior do quebra-mar em relação ao tímpano, tal como se pode observar na figura seguinte.



Figura 77: Ponte 3 - Inclinação do quebra-mar

Como se observa na figura 77, este deslizamento da parte superior do quebra-mar está relacionado com a tensão exercida pelo tímpano, que se encontra a “empurrar” o quebra-mar.

Também na ponte 7 é possível observar um afastamento entre o pilar e o quebra-mar, observando-se um deslizamento das pedras para o exterior em relação ao tímpano. Pela observação realizada, parece que esse escorregamento ocorreu começando pelo topo do quebra-mar, pois na sua base esta anomalia já quase não é notória. (Figura 78)

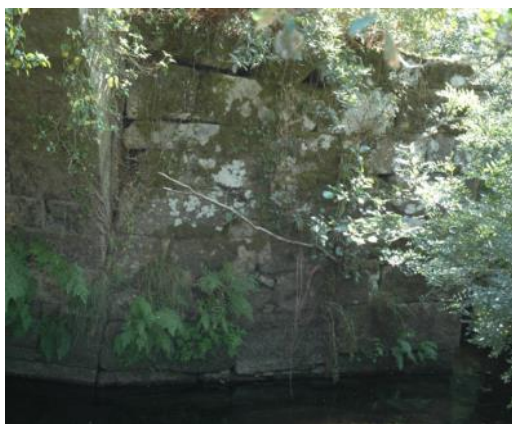


Figura 78: Ponte 7 - Separação entre o quebra-mar e a estrutura

Esta desagregação pode dever-se à instabilidade do próprio quebra-mar uma vez que não existe uma relação consolidada entre este e o resto da estrutura. Assim, o próprio peso do quebra-mar pode levar à sua deformação, já que não existe nenhum elemento que estabilize o talhante, e que assim se deforma livremente, começando pelo deslizamento em relação à restante estrutura das pedras de níveis superiores.

Na ponte 3 é possível observar que foi argamassada a ligação entre o quebra-mar e a restante estrutura, encontrando-se essa ligação bastante deteriorada, como se pode

observar na figura 79. Já na ponte 7 não é possível observar qualquer tipo de ligação consolidada entre o quebra-mar e o tímpano.



Figura 79: Ponte 3 - Ligação entre o quebra-mar e o tímpano

No entanto é possível observar que essa argamassa já não resiste na maior parte da ligação entre os dois elementos, não parecendo existir assim uma ligação física entre o quebra-mar e a restante estrutura, e parecendo que este apenas encosta na ponte.

No quebra-mar da ponte 3 é ainda possível observar uma fendilhação longitudinal, que leva à separação dos blocos, como se pode observar na figura 80.



Figura 80: Ponte 3 - Fendilhação no quebra-mar

Verifica-se assim um desalinhamento entre as pedras que constituem a parte mais exterior do quebra-mar e as restantes, formando um alinhamento que segue até à parte inferior do

talhante. Pode-se também observar um afastamento considerável entre alguns dos blocos, tanto no quebra-mar da ponte 3 como da ponte 7 (figura 81 e 82).



Figura 81: Ponte 3 - Afastamento entre blocos do quebra-mar



Figura 82: Ponte 7 - Afastamento entre blocos no quebra-mar

O afastamento entre blocos observado nestas pontes pode dever-se ao assentamento dos apoios, tendo causado movimentos na estrutura e ainda a vibrações excessivas no tabuleiro da ponte, o que leva a maiores impulsos na alvenaria.

Esta abertura de juntas entre os blocos do quebra-mar leva a uma separação da alvenaria e consequentemente a uma redistribuição dos esforços neste elemento estrutural.

Este afastamento deve-se também à ação da vegetação, que com as suas raízes causa a erosão das pedras, levando à perda de argamassa e aumentando os espaços entre os blocos.

As condições observadas no quebra-mar potencializam a sua degradação, desde o desalinhamento das pedras, à presença de vegetação, da qual se vai falar com maior atenção mais à frente, e à ação da corrente do rio, juntamente com as ações no interior da ponte, podendo levar à desagregação do quebra-mar da restante estrutura, já que a sua ligação não é estruturalmente forte.

Como já foi referido, no quebra-mar da ponte 9 não se observam anomalias não estruturais. Nesta ponte foram argamassadas as juntas dos arcos, tímpanos e encontros, mas não dos quebra-mares. Aí observa-se a presença de vegetação, como o musgo, a crescer entre as juntas, além do desenvolvimento de vegetação mais robusta, focando-se aqui o crescimento de uma árvore cuja raiz se desenvolve no próprio quebra-mar, como se observa na figura 83.



Figura 83: Ponte 9 – Tronco de árvore junto ao talha-mar

Devido ao fato de a inspeção se ter realizado numa altura em que o rio tinha muito caudal, não foi possível observar se o crescimento da raiz está a danificar a estrutura. No entanto, o crescimento de vegetação com este porte leva à desagregação das pedras e consequentemente à instabilidade da estrutura.

Ainda no talha-mar é possível identificar a presença de raízes de vegetação de menor porte entre os blocos que constituem este elemento, levando à sua erosão que se observa nos cantos arredondados dos blocos que constituem o elemento (figura 84).



Figura 84: Ponte 9 – Raízes e musgo a desenvolverem-se entre as pedras do talha-mar

O desenvolvimento destas raízes leva ao desprendimento da argamassa das juntas, causando também a erosão da pedra pela ação mecânica que ocorre e levando à separação dos blocos, observando-se isso também na imagem anterior. Estas anomalias podem levar à instabilidade do elemento, apesar de esta ainda não ser evidente.

4.2.5 Anomalias detetadas nos guarda-corpos

Ao nível das guardas é possível formar dois grupos de anomalias visíveis em algumas pontes: o primeiro relativo à erosão das guardas e à sua degradação e o segundo relativo ao desprendimento da argamassa.

Além destas anomalias observa-se ainda a fratura localizada dos blocos da ponte 3, assim como o desalinhamento das guardas e a abertura de juntas.

A fratura observada (figura 85) pode ter várias origens, podendo dever-se ao embate de algum veículo ou à perda de resistência da alvenaria devido à ação de vegetação que causa pressão na pedra. Não se trata de uma anomalia severa, mas pode ainda assim originar a perda de blocos caso não se realize a união entre os blocos fraturados.

Tal como referido pode ainda observar-se o desalinhamento de algumas guardas (figura 86). Esta anomalia pode dever-se aos elevados impulsos laterais a que a ponte está sujeita, tal como já referido na descrição das anomalias dos tímpanos. Pode ainda dever-se ao embate de um veículo, já que esta anomalia se localiza apenas numa zona. Existe o risco de queda das pedras uma vez que o desalinhamento causa a sua instabilidade.

É ainda possível observar nesta ponte a abertura de juntas, com perda de argamassa de juntas (figura 86).



Figura 85: Ponte 3 - Fratura de guardas



Figura 86: Ponte 3 - Desalinhamento das guardas

A abertura de juntas é mais visível junto da zona onde ocorreu o desalinhamento das juntas, podendo concluir-se assim que a perda da argamassa das juntas se deveu ao movimento das pedras das guardas. A ausência desta argamassa pode levar à perda dos blocos, uma vez que não há uma relação entre as pedras.

Na ponte 1 é possível observar ambos os grupos de anomalias referidos, existindo uma erosão muito acentuada das pedras que constituem os guarda-corpos, refletindo-se numa separação entre estes elementos, como se observa na figura 88. De notar que estas pedras do guarda-corpos foram já sujeitas a um processo que visa diminuir a separação das pedras entre si, recorrendo a um “agrafo” de metal.

A erosão destes elementos encontra-se bastante acentuada, assim como a erosão das juntas argamassadas, que quase já não são visíveis, como se pode observar na figura 87. Nas juntas onde ainda é visível argamassa, esta encontra-se bastante frágil, desprendendo muito facilmente.



Figura 87: Ponte 1 – Erosão no material pétreo das guardas



Figura 88: Ponte 1 – Erosão das pedras e desprendimento da argamassa

Já na ponte 2 e na ponte 7 é possível observar problemas relacionados com a argamassa das juntas e não com a erosão da pedra. Nestas duas pontes, as juntas das guardas foram argamassadas com argamassa de cimento, encontrando-se esta a desprender dos elementos de pedra, tal como se observa na figura 89 e 90.



Figura 89: Ponte 2 - Desprendimento argamassa das guardas



Figura 90: Ponte 7 - Desprendimento da argamassa

A argamassa de cimento mostra-se claramente incompatível com as pedras, estando a destacar muito facilmente. No entanto, não é visível nenhum dano nas guardas causado pelo destacamento da argamassa, encontrando-se as mesmas perfeitamente alinhadas e sem sinais de erosão nas juntas.

Relativamente à ponte 5, esta apresenta um dano nas guardas que não ocorre em mais nenhuma ponte e que consiste na destruição de parte das guardas, devido possivelmente a

um choque de um veículo com as guardas, levando à quebra das mesmas, como se mostra na figura 91.



Figura 91: Ponte 5 – Degradação das pedras dos guarda-corpos

As pedras dos guarda-corpos encontram-se partidas neste local, tendo caído parte do bloco para o campo que se encontra abaixo e estando outra pedra ainda junto ao pavimento. As restantes pedras do guarda-corpos não possuem nenhuma anomalia, além da sujidade evidente e da presença de alguma vegetação.

4.2.6 Anomalias detetadas nos pavimentos

Em relação às anomalias presentes nos pavimentos, é possível observar dois grupos gerais: um relacionado com anomalias em pavimentos betuminoso e outro em pavimentos de calçada.

Relativamente ao primeiro grupo tem-se as pontes 1 e 2. Nestas, o seu tabuleiro encontra-se pavimentado em semipenetração, tipo de pavimento que não é tão impermeável como o tapete e que sofre uma maior degradação com a ação da chuva e a circulação automóvel. Nestas pontes o pavimento apresenta-se degradado, com aberturas e materiais soltos, como se vê nas imagens seguintes (figura 92 e 93).



Figura 92: Ponte 1 – Pavimento



Figura 93: Ponte 2 - Pavimento

No caso da ponte 1, e como o tabuleiro é em cavalete, a água não se acumula no pavimento, correndo livremente para fora do tabuleiro, mas na ponte 2, devido à falta de pendente corretamente executada e à obstrução dos sistemas de drenagem, a água acumula-se no pavimento. Em resultado, o pavimento começou a ceder, tendo sido

necessário intervir no sentido de desobstruir as vias de escoamento existentes, e reparar a abertura no tabuleiro causada pela água.

Relativamente à ponte 1, a sua degradação prende-se mais com o tráfego automóvel do que com a acumulação de água no pavimento, não sendo esta anomalia tão grave aí como o é na ponte 2.

Relativamente às pontes 3 e 6, o seu pavimento é em calçada, permitindo a entrada de água pelas juntas da calçada. Observa-se nas imagens seguintes (figura 94 e 95) uma vista sobre os pavimentos das duas pontes.



Figura 94: Ponte 3 - Pavimento



Figura 95: Ponte 6 - Pavimento

O pavimento da ponte 3 possui grandes espaçamentos entre as pedras de granito que o compõe, e sem uma argamassa para unir as pedras, a entrada de água da chuva pelo pavimento é bastante facilitada. Observa-se na figura 97 o espaçamento entre os blocos, que não possuem nenhuma coesão entre si.



Figura 96: Ponte 3 – Aberturas no pavimento

Relativamente à ponte 6 os espaçamentos entre os blocos não são tão acentuados como no caso da ponte 3, e sendo as pedras mais pequenas e regulares, não permitem a entrada de água tão facilmente no enchimento.

Estas aberturas entre as pedras do pavimento, no caso das pontes 3 e 6, e as degradações do mesmo no caso das pontes 1 e 2, permitem a entrada de água no enchimento, provocando um aumento da tensão nos tímpanos, a perda de argamassa das juntas e a lavagem dos finos, criando espaços no enchimento, e afetando de modo geral a estrutura, podendo levar a um aumento das pressões a que o arco fica sujeito, potenciado pela pequena espessura de material entre o pavimento e o arco.

4.2.7 Anomalias nos sistemas de drenagem

Foi possível observar que nenhuma das pontes possui um correto sistema de drenagem, não existindo pingadeiras para escoar a água fora das alvenarias e sendo muitas vezes constituído apenas por orifícios junto aos pavimentos e noutros casos nem isso existe.

Nos casos das pontes 3 e 6 é inexistente o sistema de drenagem. Uma vez que estas pontes possuem o tabuleiro em calçada, que permite a entrada de água, um sistema de drenagem composto apenas por orifícios de escoamento da água é deficiente, a menos que seja complementado por uma impermeabilização do tabuleiro. Considerando assim a composição atual do pavimento, a realização de aberturas nos paramentos não irá impedir a entrada de água no pavimento, não se justificando assim a sua existência.

Nas pontes 5 e 8 são também inexistentes aberturas para o escoamento da água que exista no pavimento. No entanto como o pavimento possui uma laje de betão, a água que se podia infiltrar no enchimento não o faz, já que a laje impossibilita a sua entrada. Assim, e à semelhança das pontes 3 e 6, não se justifica a existência de orifícios para drenagem da água, pois uma vez que o tabuleiro é em cavalete e está impermeabilizado, não se acumula água nem esta entra para o enchimento.

Relativamente às pontes 4 e 9, estas localizam-se em estradas nacionais, sendo o seu pavimento em tapete, e possuindo já inclinação para impedir que a água se acumule no pavimento, não possuindo qualquer tipo de sistema de drenagem mas também não sendo necessário.

Na ponte 1 pode-se observar a existência de orifícios nas guardas que permitem a drenagem da água (figura 97).



Figura 97: Ponte 1 - Sistema de drenagem

Estes orifícios encontram-se ligeiramente obstruídos, não permitindo o correto escoamento da água que circula no pavimento. Não possui ainda qualquer tipo de pingadeira, fazendo com que a água escorra ao longo dos encontros.

Nas pontes 2 e 7 existem igualmente orifícios no pavimento, mas que não têm saída para o exterior, fazendo com que a água se infiltre no enchimento, como se observa nas figuras 98 e 99.



Figura 98: Ponte 2 - Orifício no pavimento



Figura 99: Ponte 7 - Orifício no pavimento

Estas aberturas existem apenas ao nível do pavimento, não existindo entre este e as guardas uma saída que encaminhe a água para fora do pavimento, estando assim a água a acumular-se no enchimento.

4.2.8 Anomalias generalizadas

A nível geral é possível observar intensa vegetação a cobrir as pontes, prejudicando à partida a inspeção das obras de arte. De seguida apresentam-se algumas imagens gerais da vegetação que encobre as pontes.



Figura 100: Ponte 1 - Vegetação



Figura 101: Ponte 2 - Vegetação



Figura 102: Ponte 3 - Vegetação



Figura 103: Ponte 4 - Vegetação



Figura 104: Ponte 5 - Vegetação



Figura 105: Ponte 6 - Vegetação



Figura 106: Ponte 7 - Vegetação

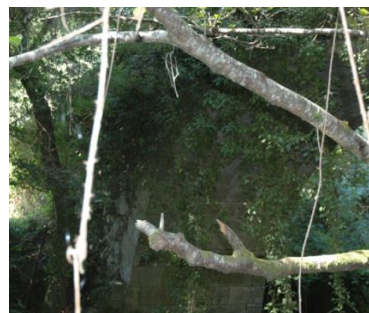
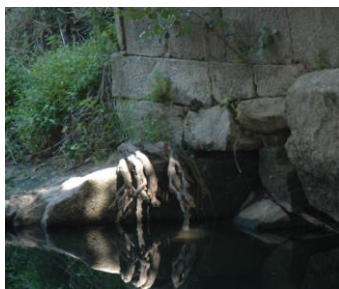


Figura 107: Ponte 8 - Vegetação

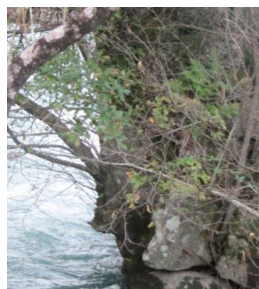


Figura 108: Ponte 9 - Vegetação

Como se observa nas imagens anteriores, todas as pontes possuem vegetação nos seus elementos. Em todas as pontes, à exceção da ponte 9 na qual não foi possível observar, existe vegetação ao nível dos encontros/fundações. Esta caracteriza-se por desenvolvimento de fetos ou de outra pequena vegetação como no caso da 4. Nas pontes 6 e 8 ainda se encontra musgo patente nesses elementos da ponte. Nas pontes 1, 2 e 8 é ainda possível encontrar-se raízes de vegetação (figuras 109 a 111).



**Figura 109: Ponte 1 -
Raízes**



**Figura 110: Ponte 2
– Raízes**



Figura 111: Ponte 8 - Raízes

Relativamente à restante estrutura é visível a presença de trepadeiras em todas as pontes e líquenes e fetos em praticamente todas, exceto na ponte 5, sendo que na ponte 9 é apenas visível nos quebra-mares. É ainda visível musgo no quebra-mar da ponte 9 e de modo geral nas pontes 1, 2, 3 e 6.

Nas pontes 7 e 8 existem árvores a desenvolverem-se entre os encontros. (figura 112 e 113)



Figura 112: Ponte 7 – raízes no encontro



Figura 113: Ponte 8 – raízes no encontro

Esta vegetação encontra-se muito desenvolvida nestes dois casos, à semelhança do já referido anteriormente para a árvore que cresce junto às fundações da ponte 2. Ainda se pode ver um arbusto a desenvolver-se no quebra-mar da ponte 9 (figura 114).



Figura 114: Ponte 9 – Raiz de arbusto a desenvolver-se junto ao quebra-mar

Apesar de não ser perceptível o dano que a vegetação está a realizar no quebra-mar, sabe-se que o desenvolvimento deste tipo de vegetação provoca a desagregação dos blocos. Já foi referido de um modo geral que a vegetação contribui para causar danos na estrutura, sabendo-se que a sua interacção com a estrutura é bastante prejudicial. Pode-se assim considerar a acção mecânica da vegetação existente, cuja existência de raízes no meio dos blocos potencializa o seu afastamento, e abrindo vazios onde irá sentir-se mais a acção da chuva, do vento e das partículas que este transporta, e que causam erosão das pedras. Além disso, considera-se igualmente a existência de bolores na alvenaria, que provocam

reações químicas prejudiciais ao material. A vegetação desenvolve-se sempre que exista água na estrutura, e condições de temperatura adequadas.

Como já se referiu, as trepadeiras são bastante prejudiciais, pois além das suas raízes se tentarem fixar nas juntas dos blocos ou em qualquer cavidade existente, prejudicando a estrutura nesse ponto, mantêm também a superfície da estrutura humedecida, o que além de prejudicar a mesma devido à humidade, leva também ao desenvolvimento de outra vegetação, como os líquenes e o musgo.

Nos casos particulares ilustrados nas figuras 109, 110 e 111 o desenvolvimento destas raízes prejudicam a estrutura, podendo levar à abertura de fendas e à separação dos blocos, podendo mesmo causar instabilidade na estrutura.

Finalizando, a existência de vegetação tanto na estrutura como ao seu redor, afeta a inspeção da estrutura, já que oculta possíveis danos que existam e que assim não podem ser detetados.

Ainda a nível generalizado é possível observar-se a erosão dos elementos pétreos, em todas as pontes, à exceção da ponte 4.

Esta erosão apresenta-se na forma arredondada dos cantos dos blocos, visível nos arcos, e no desgaste das guardas de pedra.

Apresenta-se de seguida algumas figuras que tratam esta erosão.



Figura 115: Ponte 1 - Erosão nos blocos

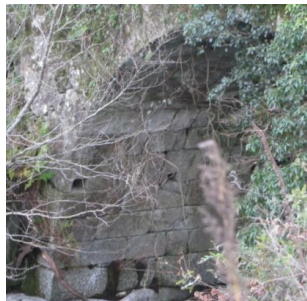


Figura 116: Ponte 2 - Erosão nos blocos



Figura 117: Ponte 3 - Erosão nos blocos



**Figura 118: Ponte 5 -
Erosão nos blocos**



**Figura 119: Ponte 7 - Erosão nos
blocos**



**Figura 120: Ponte 8 -
Erosão nos blocos**

Esta erosão é causada pela ação da água e do vento, que arrasta partículas que vão desgastando a pedra e que, por outro lado, transportam sementes que podem germinar entre os blocos, levando ao desenvolvimento da vegetação, que com as suas raízes provocam ainda um maior desgaste das pedras. Por outro lado basta a ação mecânica da chuva e do vento para desgastar a pedra. Pode-se observar que os cantos dos blocos se apresentam bastante arredondados e que em alguns, partes da pedra foram já removidas.

Pode ainda referir-se que esta erosão se pode dever ao ataque de agentes biológicos e aos ciclos de gelo/degelo e de secagem/molhagem, que provocam a degradação do material.

Na ponte 9 também é possível observar a erosão das pedras como se observa na figura 121.



Figura 121: Ponte 9 - Erosão das pedras do encontro

No entanto esta não é tão visível porque as juntas foram argamassadas, ocultando a possível erosão inexistente, sendo possível observar apenas em alguns locais.

4.2.9 Resumo das anomalias detetadas

Pelo apresentado nos subcapítulos anteriores pode observar-se que existem várias anomalias comuns a diferentes pontes. Existe unicamente uma anomalia comum a todas as

pontes, tratando-se da vegetação infestante, mais desenvolvida em alguns casos que outros mas presente em todos.

Para que seja possível uma análise global das pontes apresenta-se na tabela 1 as anomalias encontradas em cada ponte.

Tabela 1: Anomalias encontradas em cada ponte

	Ponte 01	Ponte 02	Ponte 03	Ponte 04	Ponte 05	Ponte 06	Ponte 07	Ponte 08	Ponte 09
Fendilhação longitudinal entre o arco e o tímpano	X								
Embarramento do tímpano			X						
Deslizamento do tímpano			X						
Deslocamento de pedras dos tímpanos			X						
Fendilhação de blocos dos tímpanos			X						
Fendilhação de blocos dos encontros	X	X	X						X
Desagregação de pedras dos encontros	X	X							
Erosão de blocos junto às fundações	X	X			X				
Fendilhação localizada de pedras dos arcos	X		X						
Fratura de aduelas	X		X						
Fendilhação longitudinal do arco, junto às faces	X		X						
Abertura de juntas no arco	X	X	X						
Perda de argamassa do arco	X	X					X	X	
Perda de material de aduelas			X						
Desprendimento da argamassa das guardas	X	X					X		
Fratura das pedras das			X						

guardas									
Perda de material das guardas			X		X				
Desalinhamento das guardas			X						
Inclinação do quebra-mar			X						
Fendilhação longitudinal do quebra-mar			X						
Desagregação do quebra-mar			X				X		
Separação do quebra-mar da estrutura							X		
Sistema de drenagem deficiente	X	X					X		
Degradação do pavimento	X	X							
Abertura de juntas no pavimento			X						
Vegetação infestante	X	X	X	X	X	X	X	X	X

De modo geral constata-se que as pontes não apresentam perigo para os utentes, uma vez que as suas anomalias não são críticas. De modo geral trata-se sobretudo da falta de manutenção das pontes, sendo necessária a limpeza da vegetação infestante e refecimento de juntas com argamassa adequada.

As pontes com mais anomalias são as 1, 2 e 3, estando esta última visivelmente mais afetada que as restantes. No caso da primeira ponte o arco poderá não estar a funcionar corretamente, devido ao abatimento que apresenta e à separação em relação ao tímpano, sendo a segunda mais danificada.

A ponte que apresenta anomalias mais importantes é a ponte 3, em que os seus elementos principais se encontram afetados com algum grau de importância, nomeadamente o arco central e os tímpanos.

As restantes pontes não apresentam danos de maior relevância, devendo ser dada especial importância à sua manutenção, especialmente devido ao desenvolvimento de vegetação que pode afetar a estrutura.

4.3 Soluções de intervenção

No subcapítulo anterior foram identificadas e descritas as anomalias observadas em cada ponte, definindo-se as causas mais prováveis para essas anomalias, de acordo com o que se observou.

Neste subcapítulo serão apontadas as soluções de intervenção para cada conjunto de anomalias apresentadas anteriormente. Essas soluções foram escolhidas tendo em consideração a aplicação dos métodos menos invasivos possível, de forma a não serem soluções economicamente inviáveis e não alterarem o aspeto da obra de arte.

4.3.1 Anomalias detetadas nos tímpanos

Nas pontes 1, 6 e 7 é possível observar a fissuração do tímpano com uma ligeira separação do arco em relação ao tímpano. Uma solução de intervenção poderia passar pela pregagem do arco ao tímpano. No entanto, devido à pequena espessura do arco ao pavimento esta não seria uma técnica eficaz. Deste modo propõe-se a remoção da vegetação existente na zona da fendilhação e o refechamento da junta com argamassa compatível, técnica já descrita anteriormente. De seguida será necessária a monitorização da fendilhação. Caso esta volte a ocorrer deverá ser feito um reforço do arco, podendo recorrer-se a pregagens ou reforços com elementos metálicos, como perfis no intradorso do arco até aos encontros.

A ponte 3, sendo a que apresenta mais danos, é também a que exige maiores cuidados, por ser considerada Imóvel de Interesse Público. Assim, neste caso, a intervenção deverá passar por substituir o enchimento por betão leve, além de ser necessário um reposicionamento dos tímpanos. Devido ao seu custo, a necessidade de substituição do enchimento deve ser confirmada antes de se proceder à intervenção. Estas operações só devem ser executadas depois da limpeza da ponte e o escoramento dos arcos e restante estrutura em risco. Relativamente à escolha desta intervenção, julga-se que é uma melhor abordagem do que outra intervenção possível, como seria o caso da ancoragem dos tímpanos. Esta intervenção poderia ser igualmente eficaz e envolver menos custos, mas provocaria uma alteração do aspeto da ponte, o que não deve ser feito tratando-se de uma obra de arte com interesse público.

Assim o procedimento de reparação da ponte deve passar pela limpeza da ponte, que será descrita posteriormente, seguida da numeração das pedras das guardas, para o seu posterior levantamento.. De seguida será executada a cofragem dos arcos e dos tímpanos. Posteriormente serão retiradas as pedras das guardas, já devidamente numeradas, e de seguida é levantado o pavimento em lajedo existente. De seguida passa-se à remoção do enchimento da ponte, e quando esta operação estiver terminada deve passar-se para o alinhamento dos tímpanos. Este deve ser feito com o auxílio de pranchas que irão

posicionar os tímpanos na sua localização inicial. Esta operação tem de ser realizada com cuidado para que os blocos não sejam danificados. De seguida faz-se a reposição do enchimento com betão leve, efetuando-se também o refechamento das juntas com argamassa de cal e areia ou de cimento de baixa retração. A superfície superior do betão e das zonas da ponte que estarão em contacto com este devem ser impermeabilizadas com emulsão betuminosa. Após ser feita esta consolidação deverá ser colocada uma manta geotêxtil na superfície do betão, que permitirá a drenagem de águas da chuva que passem o pavimento para fora da ponte. De seguida faz-se o assentamento do lajedo do pavimento, assente em camada de areia e com juntas de areia e cimento de baixa retração, para impedir a entrada de água. Por fim deverão ser repostas as guardas de pedra, sendo descrito mais à frente a sua recolocação.

Nesta ponte tem-se ainda a fissuração de blocos dos tímpanos, devendo prever-se a monitorização destas fissuras para que se verifique se irá evoluir. Deve no entanto realizar-se a selagem das fissuras existentes com argamassa de cimento de baixa retração.

4.3.2 Anomalias detetadas nos encontros

Foram observados danos nos encontros das pontes 1,2,5 e 9. Nas três primeiras trata-se de uma desagregação ligeira com algumas fissurações e perda pontual de blocos enquanto na ponte 9 se observa uma fendilhação mais profunda.

Assim, no caso das pontes 1 e 2, nas quais as pedras que constituem os encontros têm dimensões muito irregulares, propõe-se a colocação nos espaços vazios, entre as pedras constituintes do encontro, pedras de dimensões mais pequenas, que possam assim preencher esses espaços e minimizar a erosão sofrida pelos blocos existentes. Esta operação só deve ser realizada após a limpeza da ponte, operação que será descrita posteriormente.

A pedra miúda escolhida para colocar nos encontros deve ser semelhante à existente, para não destoar visualmente da restante e para ter comportamento semelhante à existente.

No caso da ponte 5, os silhares dos encontros estão desagregados por não estarem ligados por argamassa. Ao contrário das pontes 1 e 2 em que esta desagregação é mais acentuada por causa dos espaços vazios que seriam ocupados por pedras de menores dimensões, aqui a desagregação deve-se à falta de coesão causada pela ausência de argamassa. Assim deverá ser realizado, após a limpeza da vegetação e lavagem do paramento, o refechamento de juntas.

O processo de refechamento de juntas deve iniciar-se com a lavagem das juntas com água a baixa pressão. Caso existissem restos de argamassa antiga esta deve ser removida, mas através da inspeção realizada não parece que tenha existido qualquer argamassa nas juntas, não havendo qualquer resquício das mesmas. Assim, após a lavagem, será aplicada a argamassa, que deverá ser à base de cal e areia ou de cimento de baixa retração como já

foi referido no capítulo III, e deverá ser usada uma colher de refechamento na sua execução, que tem como objetivo comprimir a argamassa. De realçar que o refechamento deve ser executado para que a argamassa adquira uma forma côncava na junta, para que não possa ser facilmente arrastada, causando a sua degradação.

No caso da ponte 9, a fissuração observada nos encontros deverá ser monitorizada para observar se esta se desenvolve com o tempo ou se se mantém como a que se verifica neste momento. Não se prevê a implementação de nenhuma solução de reabilitação até que seja possível definir claramente a causa desta anomalia.

4.3.3 Anomalias detetadas nos arcos

Nas pontes 1 e 3 existe uma abertura de fendas longitudinais. Para impedir o agravamento da fendilhação e para garantir a estabilidade da estrutura, propõe-se a execução de pregagens horizontais na zona do arco, que atravessariam a estrutura de um lado ao outro. Para isto seria necessário proceder à limpeza da ponte, ao refechamento de juntas e só depois se poderia passar para o início dos trabalhos de preparação para realização das pregagens.

A execução desta técnica inicia-se pela marcação do local e posterior execução dos furos, recorrendo a material de corte rotativo e fazendo com que esse orifício seja realizado no centro da pedra para não provocar laminação das suas extremidades. De seguida colocam-se os tirantes em bainhas de PVC previamente posicionadas nos furos. Posto isto passa-se à colocação das cabeças de ancoragem e ao aperto dos tirantes, fazendo-se posteriormente a injeção com calda de cimento dos orifícios dos tirantes. Para não causar impacto visual, deve-se cortar os varões que ficam à vista, fazendo-se o remate final com uma pedra semelhante à existente (pedra de capeamento).

Esta técnica foi utilizada no caso da ponte de Negrelos (Alves, A.), que apresentava igualmente fendilhações longitudinais do arco. Foi também feito o remate com uma pedra de capeamento para não destoar o efeito dos tirantes visualmente. Na figura 122 é possível observar o efeito da pedra de capeamento na referida ponte.



Figura 122 – Remate com pedra na ponte de Negrelos (Alves, A.)

Como na ponte 3 se entende ser importante a substituição do material de enchimento, não é necessária mais nenhuma operação de consolidação ao nível dos arcos. No caso da ponte

1, pelo contrário, deve realizar-se uma consolidação do enchimento, até porque tem pouca espessura. Esta consolidação deve ser feita através da injeção de caldas de cimento. Este procedimento foi adotado na ponte da Areosa (Martins, J.), que apresentava a fendilhação longitudinal do arco e um ligeiro abatimento do interior do arco. Nesta intervenção decidiram proceder à injeção das caldas e à realização de pregagens. Considera-se assim que para a ponte 1 também este deve ser o procedimento a seguir uma vez que a ponte tem características e anomalias semelhantes.

A injeção das caldas poderá ser realizada a baixa pressão ou por gravidade. Neste caso, como irá ser posteriormente referido, o pavimento da ponte deverá ser substituído, e assim, poderá ser realizada a injeção por gravidade, causando menos instabilidade na estrutura do que se fosse feita por pressão. A calda deve ser de cal e areia, uma vez que é a mais compatível com a estrutura de granito.

Tal como já foi descrito no capítulo III, esta técnica é realizada começando por se executar furos na alvenaria que permitam a saída de ar e água durante a injeção, sendo também necessária a colocação de tubos de purga para avaliar a distribuição de calda. A injeção deve parar sempre que haja expulsão de calda por algum local, sendo por vezes necessário realizar um furo intermédio para controlo da distribuição da calda.

Na ponte 3 é ainda possível observar-se no arco a existência de blocos partidos. Antes de se proceder à execução das pregagens do arco, estes blocos que se encontram danificados devem ser substituídos por outros de iguais dimensões e com as mesmas características, para ter comportamento e aspeto visual semelhante.

É ainda necessário proceder-se ao refechamento de juntas dos blocos dos arcos em todas as pontes exceto a 4 e 9. No caso da ponte 4 as suas juntas encontram-se devidamente preenchidas. Também acontece no caso da ponte 9 à custa do refechamento das juntas que não foi feito da forma nem com o material mais adequados. Nesta situação deveria ser retirada a argamassa de cimento, uma vez que este tipo de argamassa pode levar à fissuração dos blocos por não permitir uma correta degradação das forças e refeito o trabalho, fazendo-se o preenchimento das juntas com argamassa de cal e areia. Como exemplo refere-se o caso da ponte D.Zameiro (IC,FEUP), onde no relatório de inspeção realizado à ponte foi referido que se deveria retirar a argamassa de cimento existente pois “fez com que o comportamento do material se alterasse, não permitindo que estas juntas abrissem na presença de cargas elevadas e levou assim à fratura das pedras de cantaria” (IC). Caso isto aconteça deve observar-se se a causa é a argamassa, e caso seja, deve prever-se a sua remoção e substituição por argamassa de cal e areia. Caso ocorra, o processo de refechamento deve também ser feito de forma correta, para não permitir as escorrências de argamassa que são visíveis no momento na ponte, devido ao mau refechamento anterior.

Nas pontes 1,2,3,5,6,7 e 8 é necessário retirar os restos de argamassa existentes e proceder ao refechamento com nova argamassa, de cal e areia. A técnica de refechamento já foi descrita relativamente aos encontros, referindo-se aqui apenas que o procedimento se inicia com a picagem e lavagem das juntas com jacto de água a baixa pressão para remover os restos de argamassa existentes, sujidade e outros detritos. Posteriormente é então colocada a nova argamassa, com recurso a uma colher de refechamento para realizar o correto “aperto”. A argamassa não deve ficar exterior aos blocos, pois promove a sua desagregação e escorrências, danificando a estrutura, devendo assim apresentar uma forma côncava entre os blocos. Tal como já foi referido para outras técnicas, aqui a estrutura deve estar devidamente escorada, para que não ocorram situações de instabilidade durante este processo.

4.3.4 Anomalias detetadas nos quebra-mares

Relativamente aos quebra-mares e tal como descrito no ponto 4.2.4, existem anomalias que necessitam ser eliminadas para que haja um funcionamento correto deste elemento.

No caso do quebra-mar da ponte 3, este apresenta-se desalinhado devido à força exercida pelos tímpanos. Ao voltar a reposicionar-se os tímpanos será necessário prever o escoramento do quebra-mar para que não perca a sua estabilidade e poderá ser necessário um rearranjo dos blocos da parte superior do quebra-mar.

Neste quebra-mar será ainda necessário fazer um refechamento da junta de ligação entre o quebra-mar e a estrutura principal da ponte. Isto poderá ser executado após a limpeza da ponte e os trabalhos de consolidação já referidos anteriormente. Será de seguida realizada a ligação por meio de uma junta argamassada com cimento de baixa retração e serão recolocados os blocos que sejam necessário alterar para que se garanta a estabilidade do elemento estrutural.

Além destas anomalias é ainda possível observar-se a fendilhação longitudinal do quebra-mar com a abertura de juntas e separação de blocos. Para colmatar esta anomalia deverá proceder-se ao rearranjo dos blocos do quebra-mar com a execução de juntas argamassadas após a limpeza da vegetação.

4.3.4 Anomalias detetadas nos guarda-corpos

As principais anomalias detetadas nos guarda-corpos foram identificadas nas pontes 3 e 5. No primeiro caso era visível o desalinhamento das pedras, aberturas de juntas e ainda a fratura de um dos silhares. Na ponte 5 verificou-se a inexistência de elementos devido a algum impacto de veículos.

Começando pela ponte 3, será necessário proceder-se ao alinhamento das guardas. Em situações correntes seria apenas necessário colocar as pedras que se encontram desalinhadas no seu local correto. No entanto, como se prevê uma intervenção mais generalizada nesta ponte, o alinhamento das guardas deverá ser executado na sequência de outros trabalhos.

Nestes casos, os trabalhos devem iniciar-se pela numeração das guardas e seu registo fotográfico. Só depois deste procedimento poderão ser removidas e acondicionadas para posterior recolocação. Antes de ser executada a sua nova colocação deverão lavar-se com jato de água e areia a baixa pressão, para remover a vegetação, eflorescências e sujidade existente. Deverá ainda ser prevista a substituição da pedra que se encontra fraturada por outra de características semelhantes e com a mesma geometria. Ao fazer o assentamento da cantaria deverão ser realizadas as suas juntas com argamassa de areia e cimento de baixa retração, dispondo-se os elementos de acordo com a sua posição inicial e devidamente alinhados.

Na ponte 5 verifica-se a perda de blocos das guardas, e sendo assim, a sua correção passa pelo fornecimento de novas pedras, de igual geometria das existentes e com características semelhantes. Do mesmo modo que a ponte anterior, estas deverão ser rejuntadas com argamassa de areia e cimento de baixa retração. Como a ponte foi sujeita a uma intervenção há relativamente pouco tempo, as guardas encontram-se em boas condições, não sendo necessária a realização de mais nenhuma intervenção. Poderá no entanto executar-se a lavagem dos elementos das guardas para que não haja uma dissonância visual para os utilizadores.

Ainda relativamente às guardas em cantaria é possível observar a erosão das cantarias e o destacamento da argamassa de cimento das juntas nas pontes 1,2,6,7 e 8. Tendo isto em conta, sugere-se que haja a substituição pontual dos elementos que se encontrem mais erodidos (principalmente visíveis na ponte 1) e que se remova a argamassa que se encontra a desprender, fazendo-se o refechamento das juntas com argamassa de areia e cimento de baixa retração.

Na ponte 1 é ainda possível observar a degradação das guardas metálicas (em ferro) existentes. Propõe-se assim a sua substituição por outras guardas em aço inoxidável, ou em alternativa reaproveitar as guardas existentes substituindo as partes mais corroídas sujeitando-as a um tratamento anti corrosivo.

4.3.5 Anomalias detetadas nos pavimentos

Os pavimentos destas pontes podem ser divididos em dois grupos: pavimentos em cantaria e pavimentos betuminosos.

Considerando-se o primeiro grupo, existem anomalias na ponte 3 que é constituído por lajeado de granito. As dimensões destes elementos são bastante irregulares e não existe nenhuma argamassa a consolidar as juntas. Como se prevê intervir ao nível do enchimento desta ponte, com a sua substituição, será necessário proceder-se ao levantamento do pavimento. Assim prevê-se que o mesmo seja posteriormente assente por cima de manta geotêxtil já colocada e em camada de areia, e dispondo-se de forma a minimizar o tamanho das juntas. Estas deverão ainda ser rejuntadas com argamassa de cimento pobre para impedir a entrada de água no enchimento. Poderá ser necessário o fornecimento de novo lajeado de granito, que deverá ter características semelhantes às existentes.

Na ponte 6 deverá fazer-se uma limpeza do pavimento para que se consiga observar o tipo de juntas existentes entre a calçada. Caso estas não se encontrem argamassadas deverá prever-se que se execute este trabalho de forma a garantir a impermeabilização do tabuleiro.

Relativamente aos pavimentos betuminosos existem anomalias nas pontes 1 e 2.

O pavimento da ponte 1 é constituído por uma semi-penetração, uma mistura de brita com emulsão betuminosa. Este pavimento encontra-se degradado, com a abertura de orifícios. O mesmo se passa com a ponte 2 em que a acumulação da água no centro do pavimento criou uma abertura. Estas aberturas permitem a entrada de água no enchimento da ponte e sendo assim têm de ser reparadas.

Deste modo propõe-se a substituição do pavimento realizando-se um novo, em tapete betuminoso, que garanta a impermeabilização da ponte. No caso da ponte 2, e como o seu tabuleiro não possui inclinação, deverá prever-se a criação de pendentes para o exterior da ponte, de forma a não permitir a acumulação de água no pavimento, para que não volte a ocorrer o dano presentemente verificado.

4.3.6 Anomalias detetadas nos sistemas de drenagem

Nas pontes 2 e 7, por se tratar de pontes que não têm o tabuleiro inclinado nem o mesmo é em betão deverá prever-se o melhoramento dos sistemas de drenagem, através da colocação de pingadeiras para que possa ser efetuado um escoamento mais eficaz do tabuleiro da ponte.

Uma vez que os orifícios existentes nas pontes se encontram obstruídos, deverá realizar-se a sua limpeza, com a remoção da vegetação existente e deverá colocar-se as pingadeiras nesses orifícios nas pontes referidas. Estas pingadeiras deverão ser em aço inoxidável para que não oxide e evite a criação de marcas de escorrência na ponte. As pingadeiras deverão ainda ter comprimento suficiente para que a água não esorra na própria ponte.

4.3.7 Anomalias detetadas junto das fundações

Ao nível das fundações observa-se nas pontes 1,2 e 5 a ausência de alguns blocos.

Considera-se que a perda destes blocos poderá afetar a estabilidade da estrutura, principalmente nos casos das pontes 1 e 2 em que se pode observar fissuração pontual nos blocos.

Deste modo propõe-se a execução de uma viga de embasamento realizada de forma a proteger as fundações, criando-se posteriormente um enrocamento de forma a esconder este elemento de betão.

O método de execução da viga de embasamento nas fundações foi utilizado no Pontão da Arriacha (Alves, A.), como se pode observar nas figuras seguintes (figura 123).



a) Colocação dos ferrolhos



b) Execução da armadura da viga de embasamento



c) Viga de embasamento após betonagem

Figura 123 – Construção de viga de embasamento – Pontão de Arriacha (Alves, A.)

A execução das vigas de embasamento inicia-se com a furação dos locais para a colocação dos ferrolhos que criarão a ligação com o solo, sendo de seguida injetados com calda de cimento para assegurar a sua estabilidade (figura 123a). De seguida é feita a armadura da viga de embasamento (figura 123b) procedendo-se de seguida à sua cofragem e betonagem (figura 123c). A dimensão da viga deverá ser verificada no local dependendo da ponte em questão. Poderá no fim fazer-se um enrocamento para evitar a dissonância visual do elemento de betão.

No caso da ponte 5 a perda do bloco em causa não afeta a distribuição das cargas para as fundações. Trata-se aqui de silhares mais pequenos do que nas pontes 1 e 2 e não apresenta fissurações ao nível dos elementos dos encontros. Deverá assim prever-se o acompanhamento da estrutura para que se verifique se não ocorre a abertura de juntas ou a fendilhação de elementos junto às fundações. Poderá colocar-se uma pedra de características semelhantes à existente para que visualmente não exista a falha de elementos na ponte, mas não é essencial ao bom comportamento da mesma.

4.3.8 Anomalias Generalizadas

Como descrito no capítulo anterior a presença da vegetação é generalizada, afetando todas as pontes, algumas com maior intensidade. Como se analisou, a vegetação desenvolve-se de forma descontrolada, verificando-se, em alguns casos, a existência de raízes de plantas de grande porte na própria estrutura das pontes.

Para controlar o crescimento da vegetação devem ser executadas operações de limpeza regulares para impedir a proliferação da vegetação nas pontes.

Deve ser realizada a limpeza da vegetação existente nas pontes através da aplicação de herbicida sobre todos os elementos afetados. Após a sua ação, deverá ser realizada uma limpeza dos paramentos com soluções aquosas aplicadas por meio de nebulização, seguida de escovagem ligeira com escovas de nylon. Caso seja necessário poderá recorrer-se à utilização de jato de água e areia para a sua limpeza, devendo no entanto evitar-se as técnicas mais abrasivas.

No caso das pontes 1,2 e 8 existem troncos de árvores a apoiar-se nos paramentos da ponte. A solução deverá passar pelo corte dos ramos das árvores que se desenvolvem nesses locais, até ao tronco mais próximo da ponte. Deverá de seguida ser avaliada a melhor forma de concluir a sua extração verificando todas as afetações causadas e consequências do processo.

4.4 Aplicação de guia prático na avaliação do estado de conservação de uma das pontes em estudo

Nos subcapítulos anteriores fez-se uma apresentação das pontes em análise, as anomalias presentes em cada uma delas, suas possíveis causas e sugestões de soluções para intervir na correção dessas anomalias.

Além deste estudo foi aplicado um guia prático de avaliação do estado de conservação de pontes, disponibilizado pela Infraestruturas de Portugal. Por se tratar de um documento ainda em desenvolvimento, apenas serão apresentados os dados necessários à apresentação das conclusões obtidas ao longo da sua aplicação.

A aplicação deste guia permite a sistematização dos processos de verificação em pontes de pedra de granito ao qual associa a obtenção de um valor que corresponde ao respetivo estado de conservação. Por ainda se encontrar em desenvolvimento, na presente dissertação o guia será aplicado à ponte da Peorada, tendo-se como objetivo testar o guia, obtendo o estado de conservação da ponte pela aplicação do mesmo e comparando com a análise feita anteriormente neste documento.

O guia foi aplicado à ponte da Peorada, como se apresenta de seguida, por ser a que apresenta anomalias mais significativas em todos os seus elementos, o que permite uma análise mais concreta da aplicabilidade do guia.

4.4.1 Apresentação do método

Resumidamente, o guia pretende definir o estado de conservação da ponte ao qual é aplicado. Esse estado de conservação é dado para cada elemento da ponte, apoiando na definição da necessidade de implementação de medidas de reparação ou na necessidade da sua programação num determinado espaço de tempo.

De acordo com a classificação das Infraestruturas de Portugal e que serviu de base para a realização do presente guia, foram definidos os seguintes estados de conservação:

- EC0 – “Estado de Conservação Excelente. Não é necessário efetuar qualquer reparação.”
- EC1 – “Estado de Conservação muito bom. Não é necessário efetuar qualquer reparação.”
- EC2 – “Estado de Conservação bom. Podem ser especificadas reparações não prioritárias. Verifica-se que a qualidade dos materiais ou a sua execução são defeituosas. Foram detetadas algumas anomalias com alguma importância no

comportamento e durabilidade da obra de arte, mas que pela onerosidade da sua reparação não justificam a intervenção prioritária.”

- EC3 – “Estado de Conservação razoável. Verifica-se que a qualidade dos materiais ou a sua execução são más. Funcionamento deficitário, com especial importância na durabilidade da obra de arte. A intervenção poderá ser realizada entre 3 a 5 anos ou caso o inspetor o entenda ser reavaliada na próxima inspeção principal. A opção quanto à data de intervenção ou à data de inspeção deverá ser expressamente indicada e devidamente justificada.”
- EC4 – “Estado de Conservação deficiente. Deve ser especificado o início de intervenção a curto prazo (2 anos). Verifica-se que a qualidade dos materiais ou sua execução são más. Funcionamento defeituoso com importância na durabilidade e comportamento da obra de arte. O Componente com esta classificação não cumpre os requisitos mínimos para desempenhar a função para a qual foi concebido. Pode ser especificada a necessidade de um projeto reforço/reabilitação. Se a intervenção não tiver início no final de 2 anos, nas vistorias de acompanhamento anuais seguintes a realizar, pode ser restringida a sua exploração através de condicionamentos ao tráfego, ou despoletadas outras intervenções de carácter preventivo tais como escoramentos ou reforços temporários.”
- EC5 – “Estado de Conservação mau, pode estar em causa a segurança estrutural do Componente ou mesmo da Obra de Arte. Deve ser especificado o início de intervenção com urgência ou a curto prazo (aconselhável 1 ano e no máximo 2 anos). Deve ser especificada a necessidade de um projeto reforço/reabilitação. Devem ser implementadas medidas restritivas da circulação rodoviária, em termos de carga, velocidade ou modo de circulação ou outras intervenções de carácter preventivo. No caso limite, a circulação rodoviária pode ser interdita. Se a intervenção não tiver início no final de 2 anos, nas vistorias de acompanhamento anuais seguintes poderá ser acrescida a sua exploração através de condicionamentos ao tráfego mais restritivos, ou outras intervenções de carácter preventivo tais como escoramentos ou reforços temporários.”

Após a obtenção do estado de conservação da ponte pode-se, assim, definir a urgência intervenção a realizar, caso a mesma se revele necessária.

Na componente teórica deste guia é feita uma descrição dos elementos constituintes das pontes de pedra, com a apresentação das anomalias que se podem encontrar em cada um desses elementos, definindo ainda algumas sugestões de intervenção.

A partir da obtenção do estado de conservação de cada elemento torna-se mais simples a avaliação geral do estado de conservação da ponte. Está ainda em desenvolvimento neste

guia a ponderação a atribuir a cada elemento da ponte para que se possa chegar a um estado de conservação de toda a ponte.

Na componente prática do guia estão definidos parâmetros para o cálculo do estado de conservação da ponte. A obtenção deste estado de conservação permite definir e priorizar possíveis medidas de intervenção nas obras de arte.

4.4.2 Aplicação do guia à ponte da Peorada

A determinação do estado de conservação das pontes inicia-se com a determinação das anomalias de durabilidade e de carácter estrutural (caso se aplique) para cada elemento.

Na aplicação deste guia começaram por se definir os elementos da ponte a avaliar, dependendo dos elementos existentes nas pontes em questão, tendo-se considerado neste caso: os arcos; os encontros; os tímpanos; os quebra-mares; os pavimentos; e os guarda-corpos. Para se obter o estado de conservação de cada um destes elementos, cada um deles é avaliado individualmente para poderem ser identificadas as respetivas anomalias e as suas causas.

Neste trabalho, a definição das anomalias teve como ponto de partida a análise já efetuada anteriormente a todas as pontes. A abordagem a cada anomalia é feita considerando todas as causas discriminadas no guia que podem originar aquela anomalia.

Exemplificando, no arco pode existir fendilhação localizada de aduelas. A esta anomalia estão associadas seis possíveis causas, sendo as seguintes: CE02 – Excesso de Carregamento; CE03 – Excesso de Vibrações; CE05 – Problemas de Interação entre Elementos Estruturais; CE06 – Processo de Construção; CE07 – Intervenções anteriores; CE09 – Depósitos de Origem Biológica.

Partindo da observação de cada anomalia são definidas as causas que lhe podem ser imputáveis. De seguida é avaliado, para cada uma dessas causas, o fator de gravidade do dano (D), que tem em consideração a presença da anomalia na estrutura. Neste caso, para esta anomalia, foi avaliada a sua extensão (pontual ou generalizada), ou se existe abertura de juntas maiores que 2 cm. Avalia-se assim a anomalia em função da gravidade do dano observado.

Neste guia também está definida, para cada elemento, uma tabela para determinação do fator inicial de gravidade do dano, com todas as anomalias possíveis de identificar em cada elemento, e as suas causas. Na tabela 1 do Anexo I encontra-se a tabela onde é possível identificar o fator inicial de gravidade do dano correspondente a todas as anomalias de durabilidade que se podem encontrar em todos os elementos das pontes, em função das

causas. Na tabela 1 dos anexos II a VII é possível obter-se esse valor do fator inicial de gravidade do dano para cada um dos elementos das pontes.

O segundo fator a obter é o fator de interação entre anomalias (F_i). Este relaciona as causas das anomalias existentes em cada elemento e os efeitos que estas podem gerar na ponte, podendo as causas existentes corresponder a três grupos de efeitos nas pontes: perda de equilíbrio (efeito E1), aumento de solicitações (efeito E2) e perda de resistência (efeito E3). No caso do exemplo acima identificado, da fendilhação localizada de aduelas, as causas da anomalia correspondem aos três tipos de efeitos.

Quando as anomalias são suscetíveis de causar apenas um efeito na ponte, o fator de ponderação assume o valor de 1. Caso as anomalias possam gerar dois efeitos na ponte, o fator assume valores superiores a 1 e inferiores a 1,5. Este valor só é considerado quando o conjunto das anomalias pode causar os três grupos de efeitos na ponte, que é o caso do exemplo referido anteriormente.

No caso das anomalias de durabilidade, o fator de ponderação assume o valor de 1, uma vez que estas anomalias podem apenas gerar a perda de resistência da ponte. Os valores relativos ao fator de interação entre anomalias encontram-se na matriz 1 dos Anexos deste documento, para cada elemento das pontes em estudo.

Por fim tem ainda de se obter o fator de ponderação da relevância das anomalias no elemento (F_r). Este consiste numa percentagem em que se considera a importância de cada anomalia em cada elemento, tendo maior percentagem as anomalias que contribuam mais para a deterioração do elemento. Este valor pode ser obtido pelas tabelas 2 existentes nos Anexos. Por exemplo, no caso da anomalia anteriormente enunciada, a fendilhação localizada de aduelas, de acordo com a tabela do guia esta anomalia tem uma ponderação de 10% para o estado de conservação deste elemento.

Após a obtenção destes três coeficientes (fator de gravidade do dano, fator de interação entre anomalias e fator de ponderação da relevância das anomalias), os mesmos são multiplicados, para cada anomalia (coluna 8 da tabela seguinte). De seguida é feito o somatório destes valores e obtém-se deste modo o Estado de Conservação de cada elemento.

Em função do número de elementos da ponte e dos Estados de Conservação é obtido o Estado de Conservação Final da ponte. Como o guia aplicado ainda está em desenvolvimento não existe ainda um cálculo final para a obtenção do EC final.

Na tabela apresentada no anexo VIII apresentam-se os valores obtidos para os elementos avaliados na ponte da Peorada, assim como os EC's obtidos.

Na tabela seguinte (tabela 2) apresentam-se os estados de conservação obtidos para cada elemento.

Tabela 2: Valores do Estado de Conservação dos elementos da ponte

Elemento	A1	A2	A3	T1	T2	E1	E2	Q1	PAV	GC
EC	EC 1	EC 6	EC 1	EC 4	EC 5	EC 1	EC 1	EC 8	EC 2	EC 2

Na tabela anterior apresentam-se os elementos estudados sendo “A” cada um dos arcos, “T” os tímpanos, “E” os encontros, “Q” o quebra-mar, “PAV” o pavimento e “GC” os guarda-corpos.

O arco “A1” corresponde ao arco localizado na margem direita, “A2” o arco central e “A3” o arco da margem esquerda. Do mesmo modo o “E1” corresponde ao encontro da margem direita e “E2” ao encontro da margem esquerda.

De acordo com a tabela anterior verifica-se que a aplicação do guia não cumpre com o preconizado nos seus próprios pressupostos de base, ou seja, tal como anteriormente referido, o resultado obtido para o estado de conservação (EC) deve variar entre EC0 e EC5 devidamente caracterizados e explicados. Nos dados anteriormente apresentados observa-se que o quebra-mar e o arco A2 ultrapassam esses valores limites.

Como o guia se encontra ainda em desenvolvimento conclui-se que esta operação para obtenção da fórmula final do EC ainda terá que ser ajustada. Esta fórmula soma todos os valores obtidos pela multiplicação dos três fatores enumerados anteriormente (D, Fi e Fr) para cada anomalia, não impondo o valor 5 como o valor máximo como possível de obter, o que induz a índices de EC maiores do que o admissível.

4.4.3. Conclusões à aplicação do guia

Observando a tabela 3, se considerarmos uma média para a obtenção do Estado de Conservação final obtém-se um EC3. No entanto esta não será a abordagem mais correta se avaliarmos os elementos mais importantes para a estabilidade e segurança da ponte em causa: EC5 no arco principal e no quebra-mar; e EC4 e EC5 dos tímpanos.

Tal como referido no ponto anterior, o guia aplicado ainda não se encontra concluído, não existindo nenhuma forma definida para a obtenção do EC geral da ponte a partir do EC de cada elemento.

Pela análise exaustiva feita às anomalias existentes na ponte e pelo estado de conservação de cada elemento obtidos pela aplicação do guia, conclui-se que o estado de conservação geral da ponte deverá rondar o EC4, ou seja, deve corresponder a uma ponte que já tem (e

deve continuar a ter limitações ao trânsito) e que irá necessitar de intervenção no prazo de dois anos.

Partindo desta premissa e apoiada pelas análises efetuadas e já descritas, considerou-se que existem dois tipos de elementos nesta ponte: aqueles que pela sua importância para o funcionamento da ponte contribuem para a degradação imediata da estrutura; e aqueles que contribuem para a sua degradação a mais longo prazo.

No primeiro grupo podem ser considerados: os arcos; os encontros; e os tímpanos, enquanto no segundo grupo se devem incluir: as guardas; o pavimento; e os quebra-mar. Assim foram desenvolvidos coeficientes de ponderação para cada um desses elementos, relacionando-os com o EC obtido anteriormente e com o grupo em que se inserem, dando mais relevância aos elementos que contribuem para uma degradação rápida da estrutura. Os dados assumidos apresentam-se na tabela seguinte (tabela 3).

Tabela 3: Fator de Ponderação do elemento

	A1	A2	A3	T1	T2	E1	E2	Q1	PAV	GC	soma
EC	1	5	1	4	5	1	1	5	2	2	
Fa	9	10	9	8	8	7	7	5	2	1	66

Foi assim considerado um fator de ponderação (Fa) para cada elemento, numa escala de 1 a 10, dando-se mais relevância aos elementos com maior importância estrutural na ponte.

Com estes fatores foi de seguida definido um fator de majoração (Fm), que representa a importância que os elementos com maior importância e anomalias mais graves (pior EC) têm na segurança da estrutura, como é o caso do A2 e dos tímpanos. A degradação destes elementos podem neste momento não colocar em risco a totalidade da ponte, mas a sua degradação pode pôr em causa a estabilidade de elementos importantes da ponte. Na tabela seguinte (tabela 4) apresentam-se os resultados obtidos.

Tabela 4: Estado de Conservação da ponte

	A1	A2	A3	T1	T2	E1	E2	Q1	PAV	GC	soma
EC	1	5	1	4	5	1	1	5	2	2	
Fa	9	10	9	8	8	7	7	5	2	1	
Fm	1	10	1	10	10	1	1	1	1	1	
Fa*Fm	9	100	9	80	80	7	7	5	2	1	300
média final (Fa*Fm*EC)	9	500	9	320	400	7	7	25	4	2	1283

4,28

Após o cálculo da média final para cada elemento considerando-se o produto do fator de ponderação, majoração e estado de conservação, e dividindo-se pelo somatório do produto

do fator de ponderação e majoração, obtém-se um valor de 4,28 para o Estado de Conservação. Para verificar a adaptabilidade desta fórmula seria necessário a sua aplicação noutras pontes a estudar, mas pensa-se que a definição do estado de conservação geral da ponte poderá passar pela atribuição de fatores de ordem semelhante aos aqui apresentados.

Relativamente ao estado de conservação obtido e de acordo com os parâmetros da Estradas de Portugal (EP), o EC4 corresponde a um “Estado de Conservação deficiente, devendo ser especificado o início de intervenção a curto prazo (2 anos).

No caso desta ponte os condicionamentos ao trânsito já existem, limitando-se ao trânsito pedonal. Assim prevê-se que as medidas definidas anteriormente devem ser implementadas logo que possível para garantir a integridade da ponte.

5 CONCLUSÃO

Após a conclusão da presente dissertação é possível concluir que nem sempre as estruturas são objeto da manutenção e inspeção que lhes é devida para garantir o seu correto funcionamento. É apenas considerada alguma intervenção caso se trate de uma obra de arte da responsabilidade de entidades específicas, caso contrário apenas se considera intervir se a ponte colocar visivelmente em risco os seus utilizadores.

Existe assim uma lacuna na manutenção das pontes que não se encontram em estradas nacionais e que pertencem aos municípios, já que não existem metodologias definidas que permitam avaliar o estado de conservação dessas pontes e estabelecer planos eficazes de intervenções e manutenções a efetuar.

Com a aplicação do guia desenvolvido para as Infraestruturas de Portugal para um dos casos de estudo, constatou-se que a aplicação do guia além de simplificar a obtenção de um estado de conservação para cada elemento permite ainda uma melhor análise das anomalias existentes, já que é necessário fazer a avaliação de cada uma individualmente. Da forma como o guia está elaborado permite que seja utilizado por técnicos que não sejam especializados na área de reabilitação deste tipo de estruturas, uma vez que as conclusões obtidas são de relativamente simples compreensão.

A matéria em análise possui pouca regulamentação técnica e normativa que deveria ser desenvolvida para apoiar a avaliação a realizar a este tipo de obras de arte e definir quais as soluções de reabilitação e reforço a utilizar para as anomalias mais comuns. Nesse sentido devem ser desenvolvidos estudos a pontes existentes que permitam o desenvolvimento de normas técnicas de apoio.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (Alves, A.) – Ana Sofia Carneiro Alves, “Reabilitação e Reforço de Pontes de Alvenaria”, Dissertação para obtenção de grau de mestre, Instituto Superior Técnico, 2009
- (Antunes, T.) – Telmo Ricardo Sousa Antunes, “Reabilitação de Fundações de Edifícios Antigos com microestacas”, Instituto Superior Técnico, 2012
- (Arquivo) – Arquivo Municipal de Paredes de Coura, Divisão de Obras
- (Brandão, M.) – M.J. da Cunha Brandão, “Efemérides de Coura”, 3.ª edição, Câmara Municipal de Paredes de Coura, 1998
- (Costa, C.) – Cristina Margarida Rodrigues Costa, “Análise numérica e experimental do comportamento estrutural de pontes em arco de alvenaria de pedra”, dissertação para obtenção do grau de mestre, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009
- (Costa, V.) – Vanessa Miranda da Costa, “Desempenho e Reabilitação de Pontes Rodoviárias: Aplicação a casos de estudo”, tese de mestrado, Universidade do Minho, 2009
- (Cruz, P.) – Paulo J. S. Cruz, “Linhas Orientadoras de uma política de manutenção, conservação e inspeção de pontes”, 4.ª jornadas portuguesas de Engenharia de Estruturas, 2006
- (Cunha, N.) – Narciso C. Alves da Cunha, “No Alto Minho, Paredes de Coura”, pp.83,548, 1909
- (IC, 2002) – Instituto da Construção, “Ponte D. Zameiro – Relatório de Inspeção, Mapa de Danos e Definição de Trabalhos”, FEUP – Departamento de Engenharia Civil, 2002
- (IGESPAR) – Instituto de Gestão do Património Arquitetónico e Arqueológico, I.P. – www.patrimoniocultural.pt – acedido em 5 de Agosto de 2013
- (Martins, J.) – João Paulo Martins, “Análise de pontes de alvenaria em Arco. Aplicação à ponte do Soeiro”, Relatório de projeto individual, Universidade do Minho, 2004
- (Morais, M.) – Marta José da Cruz Moraes, “Pontes em Arco de Alvenaria – Estudo de Caso Prático”, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, 2012
- (Órban, Z.) – “UIC Project on assessment, inspection and maintenance of masonry arch railway bridges”, Z. Órban, ARCH'07 – 5th International Conference on Arch Bridges

- (Pires, P.) – Paulo Alexandre Morais Pires, “Teoria e Prática de técnicas de construção, conservação e restauro de edifícios do séc, XVIII”, dissertação para obtenção do grau de mestre, Universidade de Trás os Montes e Alto Douro, 2009
- (Ribeiro, A.) – Ana Luísa Sousa Ribeiro, “Tratamento dos Solos – Jet Grouting”, dissertação para obtenção do grau de mestre, Instituto Superior Técnico, 2010
- (Rodrigues, N.) – Neuza Rodrigues, “Reabilitação de Pontes Históricas de Alvenaria”, Estradas de Portugal, 2011
- (SIPA) - Sistema de Informação para o Património Arquitetónico

Anexo I

—

**Tabelas de base para obtenção dos índices de cálculo do estado de
conservação nos elementos com anomalias de durabilidade**

Anexos

Tabela 1: Fator de gravidade do dano (D):

D (0,0 – 5,0)		CD01		CD02		CD03		CD04		CD05		CD06		CD07		CD08		CD09		CD10		CD11		CD12		CD13		CD14		CD15			
AD01	pp	pg	pp	pg																			pp	pg			sf		pp	pg			
	1,1	1,5	1,1	1,5																			1,7	2,3					1,1	1,5			
AD02					pp	pg			pp	pg			pp	pg	pp	pg													pp	pg	ap		
					1,2	1,7			1,2	1,7			1,2	1,7	1,2	1,7													1,2	1,7	1,2	1,7	2,1
AD03			pp	pg					pp	pg			pp	pg					pp	pg									pp	pg			
			1,2	1,7					1,2	1,7			1,2	1,7					1,2	1,7									1,2	1,7	1,2	1,7	1,2
AD04					pp		pg					pp		pg					pp		pg									pp	pg	est	
							1,2							1,6							1,2									1,6	1,2	1,6	1,2
AD05	pp	pg							pp		pg			pp		pg													pp	pg			
	1,2	1,7									1,2					1,7													1,2	1,7	1,2	1,7	1,2
AD06																					pp		pg										
																							1,5										
AD07																					bmd		gr	osd									
																							1										1,1
AD08	pp	pg			pp	pg																											
	1,2	1,8			1,2	1,8																											1,2
AD09													pp	pg					pp		pg									pp	pg		
													1,2	1,8							1,2									1,8	1,2	1,8	1,2
AD10					pp	pg							pp	pg							pp		pg							pp	pg		
					1,2	1,8							1,2	1,8									1,2							1,8	1,2	1,8	1,2
AD11	pp	pg			pp	pg							pp	pg	pp	pg			pp		pg									pp	pg		
	1,4	2,5			1,4	2,5							1,4	2,5	1,4	2,5					1,4									2,5	1,4	2,5	1,4
AD12	ch													pp		pg			pp		pg					pp		pg	pp	pg			
	2,5															1,7					2,3							1,7	2,3	1,7	2,3	1,7	2,3

Nomenclatura: pp – presença pontual; pg – presença generalizada; sf – passagem de água sob as fundações; ap - árvores apoiadas na ponte; est – com estalactites; bmd – blocos de material diferente; gr – grafitis; osd – obstrução do sistema de drenagem, devido a subida de cota na substituição do pavimento; a – abertura de junta; ch – cheias.

Anexos

Matriz 1: Fator de interação entre CAs (F_i):

CD - Causas de anomalias de Durabilidade		E – Efeito na ponte
CD01	Chuva	E1 Perda de resistência
CD02	Humidade	
CD03	Vento	
CD04	Variações térmicas	
CD05	Ação de animais	
CD06	Poluição	
CD07	Circulação de água na estrutura	
CD08	Colonização biológica	
CD09	Vegetação	
CD10	Degradação de material	
CD11	Intervenções anteriores	
CD12	Processo de construção	
CD13	Movimento estruturais	
CD14	Escoamento do curso de água	
CD15	Falta de manutenção/limpeza da estrutura e da sua envolvente	

E/E	E1
E1	1

Tabela 2: Fator de ponderação da relevância das anomalias no elemento (F_r):

A	F_r (0% – 100%)
AD01	8
AD02	6
AD03	3
AD04	9
AD05	3
AD06	10
AD07	1*
AD08	12
AD09	11
AD10	12
AD11	12
AD12	10

* Em caso de obstrução do sistema de drenagem, devido à subida da cota do pavimento: 7

Anexo II

—

**Tabelas de base para obtenção dos índices de cálculo do estado de
conservação do arco com anomalias estruturais**

Tabela 1: Fator de gravidade do dano (D):

D (0,0 – 5,0)	CE01			CE02			CE03			CE04			CE05			CE06			CE07			CE08			CE09			CE10			
AA01				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2				
				1	2	2	1	2	2				1	2	2	1	2	2	1,5	2	2				1	2	2				
AA02				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2				
				1	3	2	1	3	2				1	2,5	2	1	3	2	1,5	3	2				1	3	2				
AA03				pp	pg								pp	pg																	
				1,5	2								1	2																	
AA04				ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3				ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3																
				3	4	4,5	2,5	3,5	4,5				2,5	3,5	4,5																
AA05				ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3																			
				2	3,2	4,5	2	3,2	4,5	3	4	5																			
AA06	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3				ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3																			
	2,5	3,5	4,5	2,5	3,5	4,5				3	4	4,5																			
AA07	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3																												
	2,5	3,5	4,5																												
AA08	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3				ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3																			
	3,5	4	5	3,5	4	5				3,5	4	5																			
AA09	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3																ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3										
	2,5	3,5	4																1,2	2	3										
AA10	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3																												
	2,5	3,2	3,7																												
AA11	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3																						
	2,5	3,5	4	2,5	3,5	4	2	3	3,5																						
AA12				(1)	(2)	(3)	(1)	(1)	(1)	(1)	(2)	(3)	(1)	(1)	(1)							(1)	(2)	(3)							
				2	3,8	4,5	2	3,5	4,2	2	3,8	4,5	2	3,5	4,2							2	3,5	4,2							
AA13				(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)							(1)	(2)	(3)							
				2,8	4	4,5	2	3,8	4,5	2,8	4	4,5	2	3,8	4,5							2	3,8	4,5							
AA14				d < 3	d ≥ 3		d < 3	d ≥ 3		d < 3	d ≥ 3		d < 3	d ≥ 3																	
				3,5	4,5		3,3	4,2		3,5	4,5		3,3	4,2																	
AA15	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2										pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	
	1,5	3	2	1,5	3	2	1,5	3	2	1,5	3	2	1,5	3	2										1,5	3	2	1,5	3	2	
AA16	pp	pg	d ≥ 2	pp	pg	d ≥ 2	pp	pg	d ≥ 2	pp	pg	d ≥ 2	pp	pg	d ≥ 2										pp	pg	d ≥ 2				
	2,2	3,5	2,5	2,2	3,5	2,5	2	3	2,5	2,2	3,5	2,5	2	3	2,5										2	3	2,5				
AA17	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb										ppm	ppb	pgb				
	1,7	2,7	4,2	1,7	2,7	4,2	1,5	2,5	4	1,7	2,7	4,2	1,5	2,5	4										1,5	2,5	4				
AA18	rp	rt		rp	rt		rp	rt		rp	rt		rp	rt								rp	rt		rp	rt		rp	rt		
	4,5	5		4,5	5		4,5	5		4,5	5		4,5	5								4,5	5		4,5	5		4,5	5		

Notas: (os valores dos parâmetros sem dimensão são em cm, e.g.: a ≥ 2 cm)

Nomenclatura: pp – presença pontual; pg – presença generalizada; a – abertura de fenda/fratura/junta; ex – extensão; (1) – sem aparelhamento da alvenaria defeituoso ou abertura de juntas; (2) – com aparelhamento da alvenaria defeituoso ou abertura de juntas; (3) – com aparelhamento da alvenaria muito defeituoso; d – destacamento/deslocamento; ppm – perda parcial de material dos blocos; ppb – perda pontual de blocos; pgb – perda generalizada de blocos; rp – ruína parcial; rt – ruína total.

Matriz 1: Fator de interação entre CAs (F_i):

CE - Causas de anomalias de caráter Estrutural		E – Efeito na ponte
CE01	Movimentos dos apoios	E1 Perda de equilíbrio
CE05	Problemas de interação entre elementos estruturais	
CE06	Processo de construção	
CE02	Excesso de Carregamento	E2 Aumento de solicitações
CE03	Excesso de vibrações	
CE04	Degradação do enchimento	E3 Perda de resistência
CE07	Intervenções anteriores	
CE08	Degradação do material	
CE09	Depósitos de origem biológica	

F _i			
E/E	E1	E2	E3
E1	1	1,2	1,1
E2	1,2	1	1,3
E3	1,1	1,3	1

Nota 1: Interação entre E1/2/3: F_i = 1,5

Tabela 2: Fator de ponderação da relevância das anomalias no elemento (F_r):

A	F _r (0% – 100%)
AA1	10
AA2	20
AA3	10
AA4	55
AA5	50
AA6	45
AA7	55
AA8	65
AA9	55
AA10	55
AA11	55
AA12	65
AA13	75
AA14	70
AA15	30
AA16	30
AA17	45
AA18	100

Tabela 3: Designação das anomalias estruturais do arco

Designação	Anomalia
AA01	Fendilhação localizada de aduelas
AA02	Fratura localizada de aduelas
AA03	Esmagamento de blocos
AA04	Fendilhação longitudinal no intradorso, junto à face
AA05	Fendilhação longitudinal distribuída, na zona superior do intradorso
AA06	Fendilhação longitudinal concentrada, na zona superior do intradorso
AA07	Fendilhação longitudinal na base do intradorso
AA08	Fendilhação transversal distribuída no intradorso.
AA09	Fendilhação transversal concentrada nas aduelas de fecho
AA10	Fendilhação transversal concentrada, entre as aduelas de saímel e de contrafecho
AA11	Fendilhação oblíqua no intradorso
AA12	Abatimento longitudinal
AA13	Abatimento transversal
AA14	Escorregamento de fiadas transversais de aduelas
AA15	Abertura de juntas
AA16	Destacamento de aduelas
AA17	Perda de aduelas
AA18	Ruína

Anexo III

—

**Tabelas de base para obtenção dos índices de cálculo do estado de
conservação dos tímpanos com anomalias estruturais**

Anexos

Tabela 1: Fator de gravidade do dano (D):

D (0,0 – 5,0)	CE01			CE02			CE03			CE04			CE05			CE06			CE07			CE08			CE09			CE10	
AT01				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2		
				1	2	2	1	2	2				1	2	2	1,5	2	2	1	2	2								
AT02				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2		
				1	3	2	1	3	2				1	3	2	1,5	3	2	1	3	2								
AT03				pp	pg								pp	pg															
				1,5	2								1	2															
AT04	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3				ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3														
	2,2	3,5	3	2,2	3,5	3				2,2	3,5	3																	
AT05	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3																				
	2,5	3,5	3	2,5	3,5	3	2,5	3,5	3																				
AT06				(1)	(2)	(3)				(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)							(1)	(2)	(3)					
				2,5	3,5	4				2,5	3,5	4	2,5	3,5	4							2,5	3,5	4					
AT07				i < 1°	1° < i < 3°	i ≥ 3°				i < 1°	1° < i < 3°	i ≥ 3°	i < 1°	1° < i < 3°	i ≥ 3°							i < 1°	1° < i < 3°	i ≥ 3°					
				2,5	3,5	4				2,5	3,5	4	2,5	3,5	4														
AT08				d < 3		d ≥ 3				d < 3		d ≥ 3	d < 3		d ≥ 3							d < 3		d ≥ 3					
				3		4				3		4	3		4							3		4					
AT09	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2										pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2		
	1,5	3	2	1,5	3	2	1,5	3	2	1,5	3	2										1,5	3	2					
AT10	pp	pg	d ≥ 2	pp	pg	d ≥ 2	pp	pg	d ≥ 2	pp	pg	d ≥ 2										pp	pg	d ≥ 2					
	2,2	3,5	2,5	2,2	3,5	2,5	2	3	2,5	2,2	3,5	2,5																	
AT11	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb										ppm	ppb	pgb					
	1,7	2,7	4,2	1,7	2,7	4,2	1,5	2,5	4	1,7	2,7	4,2										1,5	2,5	4					
AT12	rp		rt	rp	rt		rp	rt		rp	rt											rp	rt					rp	rt
	4,5		5	4,5	5		4,5	5		4,5	5											4,5	5					4,5	5

Notas: (os valores dos parâmetros sem dimensão são em cm, e.g.: a ≥ 2 cm)

Nomenclatura: pp – presença pontual; pg – presença generalizada; a – abertura de fenda/fratura/junta; ex – extensão; (1) – sem aparelhamento da alvenaria defeituoso ou abertura de juntas; (2) – com aparelhamento da alvenaria defeituoso ou abertura de juntas; (3) – com aparelhamento da alvenaria muito defeituoso; i – inclinação; d – destacamento/deslocamento; ppm – perda parcial de material dos blocos; ppb – perda pontual de blocos; pgb – perda generalizada de blocos; rp – ruína parcial; rt – ruína total.

Matriz 1: Fator de interação entre CAs (F_i):

CE - Causas de anomalias de caráter Estrutural		E – Efeito na ponte
CE01	Movimentos dos apoios	E1 Perda de equilíbrio
CE05	Problemas de interação entre elementos estruturais	
CE06	Processo de construção	
CE02	Excesso de Carregamento	E2 Aumento de solicitações
CE03	Excesso de vibrações	
CE04	Degradação do enchimento	E3 Perda de resistência
CE07	Intervenções anteriores	
CE08	Degradação do material	
CE09	Depósitos de origem biológica	

F_i			
E/E	E1	E2	E3
E1	1	1,2	1,1
E2	1,2	1	1,3
E3	1,1	1,3	1

Nota 1: Interação entre E1/2/3: $F_i = 1,5$

Tabela 2: Fator de ponderação da relevância das anomalias no elemento (F_r):

A	F_r (0% – 100%)
AT01	10
AT02	20
AT03	10
AT04	35
AT05	40
AT06	45
AT07	50
AT08	50
AT09	30
AT10	30
AT11	45
AT12	100

Tabela 3: Designação das anomalias estruturais do tímpano

Designação	Anomalia
AT01	Fendilhação localizada de blocos
AT02	Fratura localizada de blocos
AT03	Esmagamento de blocos
AT04	Fendilhação longitudinal
AT05	Fendilhação oblíqua
AT06	Embarrigamento
AT07	Inclinação para fora de plano
AT08	Escorregamento
AT09	Abertura de juntas
AT10	Destacamento de blocos
AT11	Perda de blocos
AT12	Ruína

Anexo IV

—

**Tabelas de base para obtenção dos índices de cálculo do estado de
conservação dos encontros com anomalias estruturais**

Anexos

Tabela 1: Fator de gravidade do dano (D):

D (0,0 – 5,0)	CE01			CE02			CE03			CE04			CE05			CE06			CE07			CE08				CE09			CE10				
AE01				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2					pp	pg	a ≥ 2					
				1	2	2	1	2	2				1	2	2	1,5	2	2	1	2	2												
AE02				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2					pp	pg	a ≥ 2					
				1	3	2	1	3	2				1	2,5	2	1	2,5	2	1,5	3	2					1	2,5	2					
AE03				pp	pg								pp	pg																			
				1,5	2								1	2																			
AE04	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3													ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3									
	2,5	3,5	4	2,5	3,5	4	2	3	3,5													2	3	3,5									
AE05	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3													ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3									
	2,5	3,5	4	2,5	3,5	4	2	3	3,5													2	3	3,5									
AE06				(1)	(2)	(3)				(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)							(1)	(2)	(3)									
				2,5	3,5	4				2,5	3,5	4	2,5	3,5	4							2,5	3,5	4									
AE07				i<1°	1°<i<3°	i≥3°				i<1°	1°<i<3°	i≥3°	i<1°	1°<i<3°	i≥3°							i<1°	1°<i<3°	i≥3°									
				2,5	3,5	4				2,5	3,5	4	2,5	3,5	4							2,5	3,5	4									
AE08																(4)	(5)	(6)	(7)				(4)	(5)	(6)	(7)							
																2,5	3	3,5	4				2,2	2,8	3,2	3,8					2,5	3	3,5
AE09	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2										pp	pg		a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2					
	1,5	3	2	1,5	3	2	1,5	3	2	1,5	3	2										2	1,5	3									
AE10	pp	pg	d ≥ 2	pp	pg	d ≥ 2	pp	pg	d ≥ 2	pp	pg	d ≥ 2										pp	pg		d ≥ 2								
	2,2	3,5	2,5	2,2	3,5	2,5	2,2	3,5	2,5	2,2	3,5	2,5										2,5	2,2	3,5									
AE11	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb										ppm	ppb		pgb								
	1,7	2,7	4,2	1,7	2,7	4,2	1,7	2,7	4,2	1,7	2,7	4,2										4,2	1,7	2,7									
AE12	rp		rt	rp		rt	rp		rt	rp		rt							rp	rt	rp		rt					rp	rt				
	4,5		5	4,5		5	4,5		5	4,5		5							4,5	5	4,5	5	4,5					5					

Notas: (os valores dos parâmetros sem dimensão são em cm, e.g.: a ≥ 2 cm)

Nomenclatura: pp – presença pontual; pg – presença generalizada; a – abertura de fenda/fratura/junta; ex – extensão; (1) – sem aparelhamento da alvenaria defeituoso ou abertura de juntas; (2) – com aparelhamento da alvenaria defeituoso ou abertura de juntas; (3) – com aparelhamento da alvenaria muito defeituoso; i – inclinação; (4) – assentamento reduzido, na área de influência das fundações; (5) – assentamento significativo, na área de influência das fundações; (6) – assentamento reduzido, sob fundações; (7) – assentamento significativo, sob as fundações; d – destacamento/deslocamento; ppm – perda parcial de material dos blocos; ppb – perda pontual de blocos; pgb – perda generalizada de blocos; rp – ruína parcial; rt – ruína total.

Matriz 1: Fator de interação entre CAs (F_i):

CE - Causas de anomalias de caráter Estrutural		E – Efeito na ponte
CE01	Movimentos dos apoios	E1 Perda de equilíbrio
CE05	Problemas de interação entre elementos estruturais	
CE06	Processo de construção	
CE02	Excesso de Carregamento	E2 Aumento de solicitações
CE03	Excesso de vibrações	
CE04	Degradação do enchimento	E3 Perda de resistência
CE07	Intervenções anteriores	
CE08	Degradação do material	
CE09	Depósitos de origem biológica	

F_i			
E/E	E1	E2	E3
E1	1	1,2	1,1
E2	1,2	1	1,3
E3	1,1	1,3	1

Nota 1: Interação entre E1/2/3: $F_i = 1,5$

Tabela 2: Fator de ponderação da relevância das anomalias no elemento (F_r):

A	F_r (0% – 100%)
AE01	10
AE02	20
AE03	10
AE04	50
AE05	50
AE06	45
AE07	50
AE08	70
AE09	30
AE10	30
AE11	45
AE12	100

Tabela 3: Designação das anomalias estruturais do encontro

Designação	Anomalia
AE01	Fendilhação localizada de blocos
AE02	Fratura localizada de blocos
AE03	Esmagamento de blocos
AE04	Fendilhação vertical
AE05	Fendilhação oblíqua
AE06	Embarrigamento
AE07	Inclinação para fora de plano
AE08	Assentamento dos apoios
AE09	Abertura de juntas
AE10	Destacamento de blocos
AE11	Perda de blocos
AE12	Ruína

Anexo V

—

**Tabelas de base para obtenção dos índices de cálculo do estado de
conservação dos quebrantes com anomalias estruturais**

Anexos

Tabela 1: Fator de gravidade do dano (D):

D (0,0 – 5,0)	CE01			CE02			CE03			CE04	CE05			CE06			CE07			CE08			CE09			CE10	
AQ01				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2		pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2		
				1	2	2	1	2	2		1	2	2	1,5	2	2	1	2	2				1	2	2		
AQ02				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2		pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2		
				1	3	2	1	3	2		1	2,5	2	1,5	3	2	1,5	3	2				1,5	3	2		
AQ03				pp	pg						pp	pg															
				1,5	2						1	2															
AQ04	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3											ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3					
	2,5	3,5	4	2,5	3,5	4	2	3	3,5											2	3	3,5					
AQ05														a < 2	a ≥ 2				a < 2	a ≥ 2	a < 2	a ≥ 2					
														3	3,8				3	3,8	2,8	3,5					
AQ06	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2											pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2		
	1,5	3	2	1,5	3	2	1,5	3	2											1,5	3	2	1,5	3	2		
AQ07	pp	pg	d ≥ 2	pp	pg	d ≥ 2	pp	pg	d ≥ 2											pp	pg	d ≥ 2					
	2,2	3,5	2,5	2,2	3,5	2,5	2,2	3,5	2,5											2,2	3,5	2,5					
AQ08	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb											ppm	ppb	pgb					
	1,7	2,7	4,2	1,7	2,7	4,2	1,7	2,7	4,2											1,7	2,7	4,2					
AQ09	rp		rt	rp		rt	rp		rt	rp	rt							rp	rt	rp		rt				rp	rt
	4,5		5	4,5		5	4,5		5	4,5	5							4,5	5	4,5	5	4,5				5	4,5

Notas: (os valores dos parâmetros sem dimensão são em cm, e.g.: $a \geq 2$ cm)

Nomenclatura: pp – presença pontual; pg – presença generalizada; a – abertura de fenda/fratura/junta; ex – extensão; i – inclinação; (4) – assentamento reduzido, na área de influência das fundações; (5) – assentamento significativo, na área de influência das fundações; (6) – assentamento reduzido, sob fundações; (7) – assentamento significativo, sob as fundações; d – destacamento/deslocamento; ppm – perda parcial de material dos blocos; ppb – perda pontual de blocos; pgb – perda generalizada de blocos; rp – ruína parcial; rt – ruína total.

Matriz 1: Fator de interação entre CAs (F_i):

CE - Causas de anomalias de caráter Estrutural		E – Efeito na ponte
CE01	Movimentos dos apoios	E1 Perda de equilíbrio
CE05	Problemas de interação entre elementos estruturais	
CE06	Processo de construção	
CE02	Excesso de Carregamento	E2 Aumento de solicitações
CE03	Excesso de vibrações	
CE04	Degradação do enchimento	E3 Perda de resistência
CE07	Intervenções anteriores	
CE08	Degradação do material	
CE09	Depósitos de origem biológica	

F_i			
E/E	E1	E2	E3
E1	1	1,2	1,1
E2	1,2	1	1,3
E3	1,1	1,3	1

Nota 1: Interação entre E1/2/3: $F_i = 1,5$

Tabela 2: Fator de ponderação da relevância das anomalias no elemento (F_r):

A	F_r (0% – 100%)
AQ01	10
AQ02	20
AQ03	10
AQ04	50
AQ05	60
AQ06	30
AQ07	30
AQ08	45
AQ09	100

Tabela 3: Designação das anomalias estruturais do quebrante

Designação	Anomalia
AQ01	Fendilhação localizada de blocos
AQ02	Fratura localizada de blocos
AQ03	Esmagamento de blocos
AQ04	Fendilhação vertical
AQ05	Separação do pilar
AQ06	Abertura de juntas
AQ07	Destacamento de blocos
AQ08	Perda de blocos
AQ09	Ruína

Anexo VI

—

**Tabelas de base para obtenção dos índices de cálculo do estado de
conservação do pavimento com anomalias estruturais**

Anexos

Tabela 1: Fator de gravidade do dano (D):

D (0,0 – 5,0)	CE01			CE02			CE03			CE04			CE05			CE06			CE07			CE08			CE09			CE010		
APv01				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2			
				1	2	2	1	2	2				1	2	2	1,5	2	2	1	2	2									
APv02				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2			
				1	3	2	1	3	2				1	2,5	2	1	2,5	2	1,5	3	2				1	2,5	2			
AT03	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3							ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3				ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3				ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3						
	2,5	3,5	4							2,5	3,5	4				2,5	3,5	4				2,5	3,2	3,7						
APv04										ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3															
										3	4	4,2	3	4	4,2															
APv05																												ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3
																												3	4	4,2
APv06										ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3							ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3						
										3	4	4,2	3	4	4,2							2,5	3,8	4						
APv07	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3	ex < 50 %	ex ≥ 50 %	a ≥ 3																					
	3	4	4,2	3	4	4,2	3	4	4,2																					
APv08				(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)																		
				2	3,8	4,5	2	3,8	4,5	2	3,8	4,5																		
APv09	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2										pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2						
	1,5	3	2	1,5	3	2	1,5	3	2										1,5	3	2									
APv10	pp	pg	d ≥ 2	pp	pg	d ≥ 2	pp	pg	d ≥ 2										pp	pg	d ≥ 2									
	2,2	3,5	2,5	2,2	3,5	2,5	2,2	3,5	2,5										2,2	3,5	2,5									
APv11	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb										ppm	ppb	pgb									
	1,7	2,7	4,2	1,7	2,7	4,2	1,7	2,7	4,2										1,7	2,7	4,2									
APv12	rp	rt		rp	rt		rp	rt		rp	rt								rp	rt		rp	rt							
	4,5	5		4,5	5		4,5	5		4,5	5								4,5	5		4,5	5							

Notas: (os valores dos parâmetros sem dimensão são em cm, e.g.: a ≥ 2 cm)

Nomenclatura: pp – presença pontual; pg – presença generalizada; a – abertura de fenda/fratura/junta; ex – extensão; (1) – sem aparelhamento da alvenaria defeituoso ou abertura de juntas; (2) – com aparelhamento da alvenaria defeituoso ou abertura de juntas; (3) – com aparelhamento da alvenaria muito defeituoso; i – inclinação; d – destacamento/deslocamento; ppm – perda parcial de material dos blocos; ppb – perda pontual de blocos; pgb – perda generalizada de blocos; rp – ruína parcial; rt – ruína total.

Matriz 1: Fator de interação entre CAs (F_i):

CE - Causas de anomalias de caráter Estrutural		E – Efeito na ponte
CE01	Movimentos dos apoios	E1 Perda de equilíbrio
CE05	Problemas de interação entre elementos estruturais	
CE06	Processo de construção	
CE02	Excesso de Carregamento	E2 Aumento de solicitações
CE03	Excesso de vibrações	
CE04	Degradação do enchimento	E3 Perda de resistência
CE07	Intervenções anteriores	
CE08	Degradação do material	
CE09	Depósitos de origem biológica	

F_i			
E/E	E1	E2	E3
E1	1	1,2	1,1
E2	1,2	1	1,3
E3	1,1	1,3	1

Nota 1: Interação entre E1/2/3: $F_i = 1,5$

Tabela 2: Fator de ponderação da relevância das anomalias no elemento (F_r):

A	F_r (0% – 100%)
APv01	10
APv02	20
APv03	45
APv04	50
APv05	50
APv06	45
APv07	45
APv08	70
APv09	30
APv10	30
APv11	45
APv12	100

Tabela 3: Designação das anomalias estruturais do pavimento

Designação	Anomalia
APv01	Fendilhação localizada de blocos
APv02	Fatura localizada de blocos
APv03	Fendilhação longitudinal na zona central
APv04	Fendilhação longitudinal junto às guardas
APv05	Fendilhação longitudinal com desenvolvimento até aos taludes
APv06	Fendilhação transversal
APv07	Fendilhação oblíqua
APv08	Abatimento do pavimento
APv09	Abertura de juntas
APv10	Destacamento de blocos
APv11	Perda de blocos
APv12	Ruína

Anexo VII

—

**Tabelas de base para obtenção dos índices de cálculo do estado de
conservação das guardas com anomalias estruturais**

Tabela 1: Fator de gravidade do dano (D):

D (0,0 – 5,0)	CF01			CF02			CF03			CF04			CF05			CF06			CF07			CF08			CF09		
AG01				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2
				1	2	2	1	2	2				1	2	2	1,5	2	2	1	2	2						
AG02				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2				pp	pg	a ≥ 2
				1	3	2	1	3	2				1	2,5	2	1	2,5	2	1,5	3	2				1,5	3	2
AG03																pp	pg				pp	pg					
																1,7	3,2				1,5	3					
AG04	pp	pg								pp	pg	pp	pg							pp	pg						
	2,5	3,8								2,5	3,5	2,5	3,5							2,5	3,5				2,5	3,5	
AG05	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2													pp	pg	a ≥ 2	pp	pg	a ≥ 2
	1,5	3	2	1,5	3	2	1,5	3	2													1,5	3	2	1,5	3	2
AG06	pp	pg	d ≥ 2	pp	pg	d ≥ 2	pp	pg	d ≥ 2													pp	pg	d ≥ 2			
	2,2	3,5	2,5	2,2	3,5	2,5	2,2	3,5	2,5													2,2	3,5	2,5			
AG07	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb	ppm	ppb	pgb										ppm	ppb	pgb			
	1,7	2,7	4,2	1,7	2,7	4,2	1,7	2,7	4,2	1,7	2,7	4,2										1,7	2,7	4,2			
AG08	rp	rt		rp	rt		rp	rt		rp	rt								rp	rt		rp	rt				
	4,5	5		4,5	5		4,5	5		4,5	5								4,5	5		4,5	5				

Notas: (os valores dos parâmetros sem dimensão são em cm, e.g.: $a \geq 2$ cm)

Nomenclatura: pp – presença pontual; pg – presença generalizada; a – abertura de fenda/fratura/junta; d – destacamento/deslocamento; ppm – perda parcial de material dos blocos; ppb – perda pontual de blocos; pgb – perda generalizada de blocos; rp – ruína parcial; rt – ruína total.

Matriz 1: Fator de interação entre CAs (F_i):

CF - Causas de anomalias de caráter Funcional		E – Efeito na ponte
CF01	Movimentos dos apoios	E1 Perda de equilíbrio
CF05	Problemas de interação entre elementos estruturais	
CF06	Processo de construção	
CF02	Excesso de Carregamento	E2 Aumento de solicitações
CF03	Excesso de vibrações	
CF04	Ações acidentais	E3 Perda de resistência
CF07	Intervenções anteriores	
CF08	Degradação do material	
CF09	Depósitos de origem biológica	

F_i			
E/E	E1	E2	E3
E1	1	1,2	1,1
E2	1,2	1	1,3
E3	1,1	1,3	1

Nota 1: Interação entre PA01/02/03: $F_i = 1,5$

Tabela 2: Fator de ponderação da relevância das anomalias no elemento (F_r):

A	F_r (0% – 100%)
AG01	10
AG02	20
AG03	50
AG04	65
AG05	30
AG06	30
AG07	45
AG08	100

Tabela 3: Designação das anomalias das guardas

Designação	Anomalia
AG01	Fendilhação localizada de blocos
AG02	Fratura localizada de blocos
AG03	Corrosão
AG04	Desalinhamento
AG05	Abertura de juntas
AG06	Destacamento de blocos
AG07	Perda de blocos
AG08	Ruína

Anexo VIII

—

Tabelas de cálculo do estado de conservação da Ponte da Peorada

Anexos

Elemento Estrutural	Anomalia	Parâmetros inspecionados	Causas Prováveis	D (0,0 – 5,0) (Ver Tabela 1)	Fi (-) (Ver Matriz 1)	Fr (0% - 100%) (Ver Tabela 2)	D x Fi x Fr (0,0 – 5,0)	EC
Arco A1	AD02	Presença generalizada	Falta de manutenção/limpeza da estrutura e da sua envolvente	1,7	1	6%	0,102	EC 1
	AD03	Presença generalizada	Falta de manutenção/limpeza da estrutura e da sua envolvente	1,7	1	3%	0,051	
	AD04	Presença generalizada	Falta de manutenção/limpeza da estrutura e da sua envolvente	1,6	1	9%	0,144	
	AD08	Presença generalizada	Vento	1,8	1	12%	0,216	
	AD11	Presença generalizada	Colonização biológica	2,5	1	12%	0,3	
Arco A3	AD02	Presença generalizada	Falta de manutenção/limpeza da estrutura e da sua envolvente	1,7	1	6%	0,102	EC 1
	AD03	Presença generalizada	Falta de manutenção/limpeza da estrutura e da sua envolvente	1,7	1	3%	0,051	
	AD04	Presença generalizada	Falta de manutenção/limpeza da estrutura e da sua envolvente	1,6	1	9%	0,144	
	AD08	Presença generalizada	Vento	1,8	1	12%	0,216	
	AD11	Presença generalizada	Colonização biológica	2,5	1	12%	0,3	
Arco A2	AD01	Presença generalizada	Chuva	1,5	1	8%	0,12	EC 6
	AD02	Presença generalizada	Falta de manutenção/limpeza da estrutura e da sua envolvente	1,7	1	6%	0,102	
	AD03	Presença generalizada	Falta de manutenção/limpeza da estrutura e da sua envolvente	1,7	1	3%	0,051	
	AD04	Presença generalizada	Falta de manutenção/limpeza da estrutura e da sua envolvente	1,6	1	9%	0,144	
	AD08	Presença	Vento	1,8	1	12%	0,216	

Anexos

		generalizada						
	AD11	Presença generalizada	Colonização biológica	2,5	1	12%	0,3	
	AA01	Presença pontual	Excesso de carregamento	1	1,3	10%	0,13	
			Excesso de vibrações					
			Depósitos de origem biológica					
	AA02	Presença pontual	Excesso de carregamento	1	1,3	10%	0,13	
			Excesso de vibrações					
			Depósitos de origem biológica					
	AA04	Extensão da fendilhação	Excesso de carregamento	4	1,2	55%	2,64	
			Excesso de vibrações					
			Problemas de interação entre elementos estruturais					
	AA15	Abertura de juntas	Movimento estruturais	3	1,5	30%	1,35	
			Excesso de carregamento					
			Excesso de vibrações					
			Degradação do enchimento					
			Degradação de material					
			Movimento estruturais					
			Problemas de interação entre elementos estruturais					
	AA16	Destacamento de aduelas	Excesso de carregamento	2,2	1,3	30%	0,858	
Excesso de vibrações								
Degradação do enchimento								
Degradação de material								
Encontro E1	AD01	Presença generalizada	Circulação de água na estrutura	2,3	1	8%	0,184	EC 1
	AD02	Presença	Falta de manutenção/limpeza da	1,7	1	6%	0,102	

Anexos

		generalizada	estrutura e da sua envolvente					
	AD03	Presença generalizada	Colonização biológica	1,7	1	3%	0,051	
	AD04	Presença generalizada	Circulação de água na estrutura	1,6	1	9%	0,144	
	AD08	Presença generalizada	Vento	1,8	1	12%	0,216	
	AD11	Presença generalizada	Circulação de água na estrutura	2,5	1	12%	0,3	
	AE02	Presença pontual	Excesso de carregamento	1	1,5	20%	0,3	
			Excesso de vibrações					
Problemas de interação entre elementos estruturais								
Depósitos de origem biológica								
Encontro E2	AD01	Presença generalizada	Circulação de água na estrutura	2,3	1	8%	0,184	EC 1
	AD02	Presença generalizada	Falta de manutenção/limpeza da estrutura e da sua envolvente	1,7	1	6%	0,102	
	AD03	Presença generalizada	Colonização biológica	1,7	1	3%	0,051	
	AD04	Presença generalizada	Circulação de água na estrutura	1,6	1	9%	0,144	
	AD08	Presença generalizada	Vento	1,8	1	12%	0,216	
	AD11	Presença generalizada	Circulação de água na estrutura	2,5	1	12%	0,3	
	AE02	Presença pontual	Excesso de carregamento	1	1,5	20%	0,3	
			Excesso de vibrações					
			Problemas de interação entre elementos estruturais					
			Depósitos de origem biológica					

Anexos

Quebra-mar Q1	AD01	Presença generalizada	Circulação de água na estrutura	2,3	1	8%	0,184	EC 8
	AD02	Presença generalizada	Falta de manutenção/limpeza da estrutura e da sua envolvente	1,7	1	6%	0,102	
	AD03	Presença generalizada	Colonização biológica	1,7	1	3%	0,051	
	AD04	Presença generalizada	Circulação de água na estrutura	1,6	1	9%	0,144	
	AD08	Presença generalizada	Vento	1,8	1	12%	0,216	
	AD11	Presença generalizada	Circulação de água na estrutura	2,5	1	12%	0,3	
	AQ01	Presença generalizada	Excesso carregamento	2	1,5	10%	0,3	
			Excesso vibrações					
			Problemas de interação entre elementos estruturais					
			Depósitos de origem biológica					
	AQ04	Extensão da fendilhação	Movimento estruturais	3,5	1,5	50%	2,625	
			Excesso carregamento					
			Excesso vibrações					
			Degradação do material					
	AQ05	Abertura de fendas	Degradação do material	3	1	60%	1,8	
			Depósitos de origem biológica					
	AQ06	Presença generalizada	Movimento estruturais	3	1,5	30%	1,35	
Excesso carregamento								
Excesso vibrações								
Degradação do material								
Depósitos de origem biológica								
AQ08	Perda parcial de	Movimento estruturais	1,7	1,5	45%	1,1475		

Anexos

		material de blocos	Excesso carregamento					
			Excesso vibrações					
			Degradação do material					
Tímpano T1	AD01	Presença generalizada	Circulação de água na estrutura	2,3	1	8%	0,184	EC 4
	AD02	Presença generalizada	Falta de manutenção/limpeza da estrutura e da sua envolvente	1,7	1	6%	0,102	
	AD03	Presença generalizada	Colonização biológica	1,7	1	3%	0,051	
	AD04	Presença generalizada	Circulação de água na estrutura	1,6	1	9%	0,144	
	AD08	Presença generalizada	Vento	1,8	1	12%	0,216	
	AD11	Presença generalizada	Circulação de água na estrutura	2,5	1	12%	0,3	
	AT01	Presença pontual	Excesso de carregamento	1	1,5	10%	0,15	
			Excesso de vibrações					
			Problemas de interação entre elementos estruturais					
			Depósitos de origem biológica					
	AT02	Presença pontual	Excesso de carregamento	1	1,5	20%	0,3	
			Excesso de vibrações					
			Problemas de interação entre elementos estruturais					
			Depósitos de origem biológica					
	AT08	Destacamento de blocos	Excesso de carregamento	4	1,5	50%	3	
Degradação do enchimento								
Problemas de interação entre elementos estruturais								
Degradação do material								

Anexos

Tímpano T2	AD01	Presença generalizada	Circulação de água na estrutura	2,3	1	8%	0,184	EC 5
	AD02	Presença generalizada	Falta de manutenção/limpeza da estrutura e da sua envolvente	1,7	1	6%	0,102	
	AD03	Presença generalizada	Colonização biológica	1,7	1	3%	0,051	
	AD04	Presença generalizada	Circulação de água na estrutura	1,6	1	9%	0,144	
	AD08	Presença generalizada	Vento	1,8	1	12%	0,216	
	AD11	Presença generalizada	Circulação de água na estrutura	2,5	1	12%	0,3	
	AT01	Presença pontual	Excesso de carregamento	1	1,5	10%	0,15	
			Excesso de vibrações					
			Problemas de interação entre elementos estruturais					
			Depósitos de origem biológica					
	AT02	Presença pontual	Excesso de carregamento	1	1,5	20%	0,3	
			Excesso de vibrações					
			Problemas de interação entre elementos estruturais					
			Depósitos de origem biológica					
	AT06	Abertura de juntas	Excesso de carregamento	3,5	1,5	45%	2,3625	
Degradação do enchimento								
Problemas de interação entre elementos estruturais								
Degradação do material								
AT10	Abertura de juntas	Excesso de carregamento	3,5	1,5	30%	1,575		
		Movimento estruturais						
		Excesso de vibrações						

Anexos

			Degradação do enchimento					
			Degradação do material					
Pavimento	AD08	Presença generalizada	Vento	1,8	1	12%	0,216	EC 2
	AD11	Presença generalizada	Circulação de água na estrutura	2,5	1	12%	0,3	
	APv09	Presença generalizada	Excesso de carregamento	3	1,3	30%	1,17	
		Presença generalizada	Excesso de vibrações					
		Presença generalizada	Degradação do material					
Guardas laterais	AG05	Presença pontual	Ações acidentais	2,5	1	30%	0,75	EC 2
	AG02	Presença pontual	Excesso de carregamento	1	1	20%	0,54	
			Excesso de vibrações					
	AD01	Presença generalizada	Chuva	1,5	1	8%	0,12	
	AD02	Presença generalizada	Falta de manutenção/limpeza da estrutura e da sua envolvente	2,1	1	6%	0,126	
	AD03	Presença generalizada	Falta de manutenção/limpeza da estrutura e da sua envolvente	1,7	1	3%	0,051	
	AD11	Presença generalizada	Variações térmicas	1,8	1	12%	0,216	